

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
CENTRO DE EDUCAÇÃO FÍSICA E DESPORTOS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO FÍSICA

**VANESSA CÂNDIDO ABREU**

**IDENTIFICAÇÃO DO PLATÔ NO CONSUMO MÁXIMO DE OXIGÊNIO:  
REVISÃO DOS MÉTODOS APRESENTADOS NA LITERATURA E PROPOSTA DE  
UMA NOVA METODOLOGIA**

VITÓRIA- ES  
2017

VANESSA CÂNDIDO ABREU

**IDENTIFICAÇÃO DO PLATÔ NO CONSUMO MÁXIMO DE OXIGÊNIO:  
REVISÃO DOS MÉTODOS APRESENTADOS NA LITERATURA E PROPOSTA DE  
UMA NOVA METODOLOGIA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Educação Física do Centro de Educação Física e Desportos da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito para obtenção do título de mestra.

Área de concentração: Educação Física, Movimento Corporal Humano e Saúde.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Luciana Carletti.

VITÓRIA- ES  
2017

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)  
(Biblioteca Central da Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)

---

- A162i Abreu, Vanessa Cândido, 1990-  
Identificação do platô no consumo máximo de oxigênio :  
revisão dos métodos apresentados na literatura e proposta de  
uma nova metodologia / Vanessa Cândido Abreu. – 2017.  
62 f. : il.
- Orientador: Luciana Carletti.  
Coorientador: Anselmo José Perez.  
Dissertação (Mestrado em Educação Física) – Universidade  
Federal do Espírito Santo, Centro de Educação Física e  
Desportos.
1. Aptidão física – Testes. 2. Oxigênio – Transporte  
fisiológico. 3. Educação física – Metodologia. I. Carletti, Luciana.  
II. Perez, Anselmo José. III. Universidade Federal do Espírito  
Santo. Centro de Educação Física e Desportos. IV. Título.

CDU: 796

---

VANESSA CÂNDIDO ABREU

**IDENTIFICAÇÃO DO PLATÔ NO CONSUMO MÁXIMO DE OXIGÊNIO:  
REVISÃO DOS MÉTODOS APRESENTADOS NA LITERATURA E PROPOSTA DE  
UMA NOVA METODOLOGIA**

Dissertação de mestrado a ser apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Educação Física e Desportos da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito para obtenção de título de mestre em Educação Física.

Aprovada em 04 de Abril de 2017.

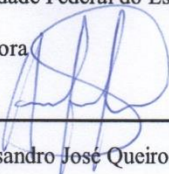
**COMISSÃO EXAMINADORA**



Dr.<sup>a</sup> Luciana Carletti

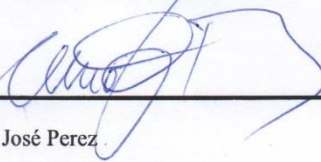
Universidade Federal do Espírito Santo

Orientadora



Dr. Alessandro José Queiroz Sarnaglia

Universidade Federal do Espírito Santo



Dr. Anselmo José Perez

Universidade Federal do Espírito Santo

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço em primeiro lugar a Deus, por permitir e abençoar minha trajetória durante mais uma etapa da minha vida.

Ao meu esposo e amigo, Orci Baptista de Abreu por todo apoio, compreensão, incentivo e amor, sempre me dando forças e acreditando em mim, até mesmo quando eu não acreditava que poderia dar certo. Muito obrigada, te amo!

Agradeço a toda minha família, aos meus pais Nilton José Cândido e Vanusa Brito Cândido e principalmente a minha avó Malvina Cândido e minha tia Elaine Cândido, pelo incentivo ao estudo, pela confiança e pelo imenso amor, sempre me ensinando que o conhecimento era uma das mais importantes coisas pelas quais eu deveria lutar em minha vida.

Agradeço a minha orientadora Luciana Carletti pela oportunidade, confiança, pela cuidadosa orientação e ensinamentos que me fizeram crescer academicamente e como ser humano.

Aos professores Anselmo José Perez e Alessandro José Queiroz Sarnaglia pela atenção, disponibilidade e contribuição durante o mestrado.

Aos amigos do LAFEX, agradeço pelas conversas, nas quais podíamos relaxar, tirar nossas dúvidas, desabafar e rir uns dos outros: Alexandra Gomes, Carla Zimerer, Fabrícia Gomes, Juliana Zanol, Letícia Nascimento, Priscila Prudêncio, Sabrina Alves, Tomás Perez, Victor Hugo e Weverton Rufo. Muito obrigada!

A CAPES pelo apoio financeiro durante a pesquisa.

*“A menos que modifiquemos a nossa maneira de pensar, não seremos capazes de resolver os problemas causados pela forma como nos acostumamos a ver o mundo” (Albert Einstein).*

## RESUMO

O  $\text{VO}_{2\text{máx}}$  é tradicionalmente identificado pela ocorrência do platô no esforço máximo. O critério clássico para identificação do platô foi proposto por Taylor et al. (1955). No entanto, devido a críticas a esse método, surgiram variados critérios, tempos de análise diversos e protocolos que resultaram na falta de consenso entre os cientistas sobre qual seria o método mais adequado para a identificação do platô, prejudicando a comparação e reprodutibilidade entre os estudos, assim como a qualidade dos mesmos. A dissertação consta de 2 estudos descritos a seguir: Estudo I, que teve por objetivo investigar os métodos de identificação e a ocorrência do platô do  $\text{VO}_{2\text{máx}}$ , descrevendo os procedimentos para coleta de dados e suas análises. Foram realizadas buscas nas bases de dados PUBMED e BIREME. Dos resultados, excluíram-se trabalhos com animais, indivíduos com patologias, com apenas mulheres ou crianças e adolescentes, artigos de revisão, escritos em outra língua além do inglês ou que não utilizavam o platô. Houve grande variação na ocorrência do platô (4,8% a 100%), e também se observou diversidade de protocolos de teste (predomínio da rampa), tempos de análise (predomínio de 10 a 20s e 30s) e diferentes critérios de análise (limiar de diferenças consecutivas e critérios estatísticos). Conclui-se que os problemas de ocorrência e metodologia da identificação do platô do  $\text{VO}_{2\text{máx}}$  apresentados nesta revisão sistemática, resultam em trabalhos muito divergentes quanto ao percentual de ocorrência do platô e em critérios confusos e reproduzidos de maneira equivocada. Em sequência, o Estudo II, teve por objetivo propor um novo modelo de análise para o platô de  $\text{VO}_{2\text{máx}}$ , utilizando critério individualizado e análise estatística e identificar as características de aptidão física dos sujeitos que realizam ou não um platô de  $\text{VO}_{2\text{máx}}$ , pelo modelo proposto. A amostra consistiu de 31 corredores de rua do sexo masculino (idade entre 18 e 40 anos). Os indivíduos foram submetidos ao eletrocardiograma de repouso e teste cardiopulmonar de exercício, utilizando o protocolo de rampa para verificação do  $\text{VO}_{2\text{máx}}$  e outras variáveis fisiológicas. Os dados foram tabelados respiração a respiração. A identificação do platô de  $\text{VO}_{2\text{máx}}$  foi realizada por meio de regressão linear segmentada com pontos de quebra desconhecidos para cada teste. Da amostra, 58,1% apresentaram platô de  $\text{VO}_{2\text{máx}}$ , não foram encontradas diferenças estatisticamente significativas nas variáveis metabólicas, ventilatórias e de velocidade. Conclui-se que esse modelo apresenta vantagens por se adequar ao protocolo de rampa, analisar individualmente as variações do  $\text{VO}_2$  e pelo uso de método estatístico. E ainda que, pelos dados analisados não há diferença nas características de aptidão entre os grupos.

**Palavras-Chave:** Aptidão física, Consumo de oxigênio, Métodos.

## ABSTRACT

The  $\text{VO}_{2\text{max}}$  is traditionally identified by the occurrence of the plateau at maximum effort. The classic criterion for plateau identification was proposed by Taylor et al. (1955). However, due to criticism of this method, several criteria, different analysis times and protocols appeared that resulted in the lack of consensus among the scientists on which would be the most appropriate method for the identification of the plateau, impairing the comparison and reproducibility between the studies, as well as the quality of the studies. The dissertation consisted of two studies described below: Study I, whose objective was to investigate the methods of identification and the occurrence of the  $\text{VO}_{2\text{max}}$  plateau, describing the procedures for data collection and analysis. Searches were performed in PUBMED and BIREME databases. From the results, we excluded work with animals, individuals with pathologies, with only women or children and adolescents, articles of revision, written in a language other than English or that did not use the plateau. There was a great variation in the occurrence of plateau (4,8% to 100%), and diversity of test protocols (ramp predominance), analysis times (predominantly 10 to 20s and 30s) and different analysis criteria (Threshold of consecutive differences and statistical criteria). It is concluded that the problems of occurrence and methodology of the identification of the  $\text{VO}_{2\text{max}}$  plateau presented in this systematic review, result in very divergent works regarding the percentage of occurrence of the plateau and in confused and misrepresented criteria. In sequence, Study II proposed a new analysis model for the  $\text{VO}_{2\text{max}}$  plateau using individualized criteria and statistical analysis and to identify the physical fitness characteristics of the subjects who perform a  $\text{VO}_{2\text{max}}$  plateau by the proposed model. The sample consisted of 31 male runners (age between 18 and 40 years). Subjects were submitted to resting electrocardiogram and cardiopulmonary exercise test, using the ramp protocol to verify  $\text{VO}_{2\text{max}}$  and other physiological variables. The data were tabulated from breath by breath. The identification of the  $\text{VO}_{2\text{max}}$  plateau was performed through segmented linear regression with unknown breakpoints for each test. Of the sample, 58,06% presented plateau of  $\text{VO}_{2\text{max}}$ , no statistically significant differences were found in metabolic, ventilatory and velocity variables. It is concluded that this model has advantages because it is adapted to the ramp protocol, to analyze  $\text{VO}_2$  variations individually and by the use of statistical method. And yet, from the data analyzed there is no difference in the fitness characteristics between the groups.

**Keywords:** Physical fitness, Oxygen consumption, Methods.



## **LISTA DE ILUSTRAÇÕES**

### **ESTUDO I**

<b>Figura 1 – Sistematização sequencial.....</b>	<b>22</b>
--	-----------

### **ESTUDO II**

<b>Figura 2- Exemplo do método.....</b>	<b>44</b>
---	-----------

## LISTA DE TABELAS

### ESTUDO I

<b>Tabela 1</b> - Resumo da revisão sistemática de literatura.....	25
<b>Tabela 2</b> - Intervalo de amostras do limiar de diferenças consecutivas.....	25
<b>Tabela 3</b> - Ocorrência do platô em valores médios, mínimos e máximos.....	26

### ESTUDO II

<b>Tabela 1</b> - Características antropométricas da amostra.....	45
<b>Tabela 2</b> - Resultado do modelo proposto.....	46
<b>Tabela 3</b> - Variáveis metabólicas, ventilatórias e de velocidade.....	47

## LISTA DE QUADROS

### ESTUDO I

<b>Quadro 1</b> - Caracterização dos estudos sobre ocorrência do platô de $\text{VO}_{2\text{máx}}$ em relação às variáveis.....	27
--	----

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

**ATP** Adenosina Trifosfato

**Diferença (a-v<sub>o2</sub>)** Diferença média entre o conteúdo de oxigênio no sangue arterial e venoso misto

**DP** Desvio Padrão

**ECG** Eletrocardiograma

**EMDCOR** Estudo Multifatorial do Desempenho de Atletas Capixabas de Corrida de Rua

**FC** Frequência Cardíaca

**FC<sub>máx</sub>** Frequência cardíaca máxima

**%FC<sub>máx</sub>** Percentual da frequência cardíaca máxima

**IMC** Índice de Massa Corporal

**IP** Internet Protocol

**LAFEX** Laboratório de Fisiologia do Exercício

**LDC** Limiar de diferenças consecutivas

**LS** Limiar de *slope*

**NP** Indivíduos que não realizaram platô

**O<sub>2</sub>** Oxigênio

**P** Indivíduos que realizaram platô

**PO<sub>2</sub>** Pressão parcial de oxigênio

**PSE** Percepção Subjetiva de Esforço

**RTR** Razão de Troca Respiratória

**TCPE** Teste Cardiopulmonar de Exercício

**UFES** Universidade Federal do Espírito Santo

**VCO<sub>2</sub>** Produção de Dióxido de Carbono

**VE** Ventilação por minuto

**VE/VCO<sub>2</sub>** Equivalente Ventilatório de Dióxido de Carbono

**VE/VO<sub>2</sub>** Equivalente Ventilatório de Consumo de Oxigênio

**V<sub>máx</sub>** Velocidade máxima atingida no TCPE

**VO<sub>2</sub>** Consumo de Oxigênio

**VO<sub>2</sub>/FC** Pulso de oxigênio

**VO<sub>2</sub>LAV** Consumo Máximo de Oxigênio no Limiar Anaeróbico Ventilatório

**VO<sub>2máx</sub>** Consumo Máximo de Oxigênio

**VO<sub>2Pico</sub>** Consumo de Oxigênio de Pico

**ΔRTR** Variação da razão de troca respiratória

**ΔVO<sub>2</sub>** Variação do consumo de oxigênio

**[Lac]** Concentração sanguínea de lactato

**5R** Cinco respirações consecutivas

## SUMÁRIO

<b>CONTEXTUALIZAÇÃO.....</b>	<b>15</b>
<b>1. ESTUDO I</b>	
<b>1.1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>18</b>
<b>1.2 JUSTIFICATIVA.....</b>	<b>20</b>
<b>1.3 OBJETIVO.....</b>	<b>20</b>
<b>1.4 MÉTODOS.....</b>	<b>21</b>
<b>1.5 RESULTADOS.....</b>	<b>23</b>
<b>1.6 DISCUSSÃO.....</b>	<b>28</b>
<b>1.7 CONCLUSÃO.....</b>	<b>31</b>
<b>1.8 REFERÊNCIAS.....</b>	<b>32</b>
<b>2. ESTUDO II</b>	
<b>2.1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>37</b>
<b>2.2 JUSTIFICATIVA.....</b>	<b>40</b>
<b>2.3 OBJETIVOS.....</b>	<b>40</b>
<b>2.4 MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>41</b>
2.4.1 Descrição metodológica.....	41
2.4.2 Procedimentos.....	41
2.4.3 Teste Cardiopulmonar de exercício (TCPE) .....	42
2.4.4 Identificação do platô no consumo máximo de oxigênio: Proposta de nova metodologia.....	42
2.4.5 Análise estatística.....	44
<b>2.5 RESULTADOS.....</b>	<b>45</b>
<b>2.6 DISCUSSÃO.....</b>	<b>48</b>
<b>2.7 CONCLUSÃO.....</b>	<b>51</b>
<b>2.8 REFERÊNCIAS.....</b>	<b>52</b>
<b>ANEXO.....</b>	<b>56</b>
<b>APÊNDICE.....</b>	<b>58</b>

## CONTEXTUALIZAÇÃO

O consumo máximo de oxigênio ( $VO_{2máx}$ ) representa a capacidade que o indivíduo tem de captar, transportar e utilizar o oxigênio ( $O_2$ ) na ressíntese da adenosina trifosfato (ATP) durante o exercício intenso (HOGG; HOPKER; MAUGER, 2015; POOLE; WILKERSON; JONES, 2008; VELLA; MARKS; ROBERGS, 2006). O  $VO_{2máx}$  tem sido uma das variáveis fisiológicas mais utilizadas para a determinação da aptidão cardiorrespiratória. O teste cardiopulmonar de exercício (TCPE), exame realizado para identificação do  $VO_{2máx}$ , fornece informações clínicas de grande importância na avaliação de indivíduos saudáveis e pacientes com patologias cardiorrespiratórias e metabólicas tanto quanto a obtenção de parâmetros que permitem o planejamento de programas de treinamento, prescritos de acordo com a capacidade funcional de cada indivíduo. Geralmente, o TCPE é realizado em esteira ou bicicleta ergométrica, onde a carga é aumentada em função linear do tempo até a exaustão voluntária (BASSET; HOWLEY, 2000; GORDON et al., 2011; LIMA-SILVA et al., 2006).

O conceito atual de  $VO_{2máx}$  foi inicialmente proposto por Hill e Lupton (1923), fisiologistas britânicos, ganhadores do prêmio Nobel, em um dos primeiros trabalhos a demonstrarem que o  $VO_2$  aumenta de forma linear com o aumento da intensidade de esforço. A ideia primária de  $VO_2$  era que momentos antes do indivíduo atingir a capacidade máxima de trabalho, o  $VO_2$  atingia um platô e não aumentaria mais. Posteriormente, o conceito foi desenvolvido por Astrand (1952) como sendo a mais alta captação de oxigênio alcançada por um indivíduo, respirando ar atmosférico ao nível do mar. Durante a Segunda Guerra Mundial, o teste de  $VO_{2máx}$  foi caracterizado por protocolos de exercício intermitente, tradicionalmente realizado em vários dias. A validação de protocolos contínuos só aconteceu após 1960, com o surgimento e aceitação da análise do gás expirado eletronicamente, que possibilitava essa medição quase instantaneamente. A implantação do teste com exercício contínuo desencadeou a validação de numerosos protocolos para o teste de  $VO_{2máx}$  (DENADAI, 1995; YOON; KRAVITZ; ROBERGS, 2007). Nesse sentido, o protocolo de rampa é o que tem ganhado mais adeptos na utilização para identificação do  $VO_{2máx}$  durante o TCPE. Isso se deve a maior suavidade e individualização no aumento de carga, uma vez que a carga é elevada de forma contínua e constante em um dado intervalo de tempo. No entanto, a utilização dos critérios tradicionais para identificação do platô, juntamente ao protocolo de rampa podem gerar resultados equivocados, uma vez que estes critérios foram desenvolvidos com base no estudo

de Taylor et al. (1955), no qual os métodos para identificação do  $\text{VO}_{2\text{máx}}$  eram diferentes dos atuais (MYERS et al., 2014; URSO; VENÂNCIO, 2010).

Em termos fisiológicos, a realização de um platô tem sido atribuída a maior adaptação do sistema anaeróbico, enquanto que o  $\text{VO}_{2\text{pico}}$  parece se relacionar à fadiga periférica. No entanto, ainda não há consenso na literatura porque alguns indivíduos fadigam antes, enquanto outros conseguem mantê-lo por mais tempo mesmo não sendo mais possível o aumento do consumo de oxigênio (GORDON et al., 2011). A explicação fisiológica para a resposta do platô no  $\text{VO}_{2\text{máx}}$  é que durante o exercício incremental, ocorre um desequilíbrio entre a oferta e a captação muscular do oxigênio. A equação de Fick corrobora com este raciocínio uma vez que sua fórmula relaciona o débito cardíaco, o  $\text{VO}_2 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1}$  e a diferença arteriovenosa ( $a-v_{\text{o}_2}$ ) mostrando que o  $\text{VO}_2$  tem relação direta com o débito cardíaco, ou seja, é necessário eficiência da frequência cardíaca e do volume de ejeção sistólico para que o oxigênio seja disponibilizado para os tecidos. No entanto, não é somente o débito cardíaco o responsável pelo aumento no suprimento de  $\text{O}_2$  durante o exercício extenuante, mas também a diferença ( $a-v_{\text{o}_2}$ ), quando a hemoglobina libera o  $\text{O}_2$  “de reserva” a partir do sangue que perfunde os tecidos ativos (McARDLE; KATCH, V. L.; KATCH, F, 2013; SUN; HANSEN; STRINGER, 2012).

Vários fatores podem limitar o consumo máximo de oxigênio como: a ventilação pulmonar e a diferença alvéolo-capilar de  $\text{O}_2$ , o débito cardíaco máximo, a capacidade carreadora de oxigênio e a limitação músculo esquelética (BASSET; HOWLEY, 2000). Assim, como são variados os fatores que podem determinar o  $\text{VO}_{2\text{máx}}$  como: fatores genéticos, idade, sexo e tipo de treinamento (DENADAI, 1995).

O critério mais utilizado para confirmação de um verdadeiro  $\text{VO}_{2\text{máx}}$  é a partir da realização de uma estabilização no consumo de oxigênio (platô) apesar de um aumento contínuo na intensidade do exercício (ASTORINO et al., 2005; GORDON et al., 2011). No entanto, nem todos os indivíduos apresentam essa condição e alguns estudos sugerem a utilização do termo consumo do oxigênio no pico do exercício ( $\text{VO}_{2\text{pico}}$ ) para estes casos. Também é sugerida a utilização de critérios secundários como a razão de troca respiratória (RTR), a frequência cardíaca máxima ( $\text{FC}_{\text{máx}}$ ), concentração sanguínea de lactato [Lac], fadiga percebida e alguns estudos a percepção subjetiva de esforço (PSE). Os valores utilizados como referência podem variar entre os estudos. Estes marcadores de esforço máximo costumam ser aplicados caso o



avaliado não realize platô no consumo de oxigênio, com a finalidade de confirmação de um teste máximo (GIBSON et al., 1999; LEMOS et al., 2011; MYERS et al., 1989).

Considerando que o platô não é comum a todas as pessoas percebe-se um percentual de ocorrência muito variado nos estudos (BRINK-ELFEGOUN et al., 2007; LIMA-SILVA et al., 2006; MYERS et al., 1989;), 50 a 70% (BISI; STAGNI; GNUDI, 2011; DUNCAN et al., 1997; POOLE; WILKERSON; JONES, 2008) e  $\leq 50\%$  (LEHMANN et al., 1997; LOVELL et al., 2011; NIEMELA; PALATSI; TAKKUNEN, 1980). Além do problema no percentual de ocorrência do platô, existem questões metodológicas conflitantes na literatura sobre outros aspectos como o tempo de análise, por exemplo. Atualmente os analisadores de gases evoluíram, tornando possível uma análise do  $\text{VO}_{2\text{máx}}$  respiração a respiração. No entanto, muitas pesquisas são realizadas com base em estudos mais antigos que utilizavam habitualmente médias de trinta ou sessenta segundos na identificação do platô. Desta forma, também não há um consenso a respeito do tempo de análise que deve ser utilizado para identificação do platô (LIMA-SILVA et al., 2006).

A análise da ocorrência do platô pode se dar de diversas formas: incluindo critérios metodológicos e matemáticos. Estes últimos compreendem inspeção visual do  $\text{VO}_2$  a partir do gráfico do  $\text{VO}_2$  versus a taxa de trabalho; um único valor limite para  $\Delta\text{VO}_2$  (variação do  $\text{VO}_2$ ); análise de regressão linear analisada pela dispersão examinando o desvio do  $\text{VO}_2$  durante os últimos minutos do exercício; ou *slope* do gradiente de  $\text{VO}_2$  igual à zero (LUCIA et al., 2006; MIDGLEY et al., 2007).

O critério mais utilizado para aceitação de um platô no consumo de oxigênio é o descrito por Taylor et al. (1955), que originalmente considera um aumento máximo de  $150 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1}$  ou de  $2,1 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$  para um aumento de 2,5% na inclinação da esteira. No entanto, este método sofre algumas críticas como, por exemplo, em relação a quantidade de dias que eram necessários para o estabelecimento do  $\text{VO}_{2\text{máx}}$  (em torno de 3-5 dias), pela individualidade do estudo ou por obter os dados com equipamentos que hoje não são mais utilizados. Além disso, existem muitos outros critérios, o que dificulta a obtenção de uma análise mais precisa e consensual entre os pesquisadores (HOWLEY; BASSET; WELCH, 1995; MIDGLEY et al., 2009).

Diante ao exposto, esta pesquisa foi desenvolvida a partir de dois estudos que se completam. O primeiro que consiste de uma revisão sistemática da literatura sobre os métodos

empregados na análise do platô do  $\text{VO}_{2\text{máx}}$  e, o segundo que abrangeu uma proposta de aplicação de um novo método estatístico para a análise do platô, aplicado ao teste de rampa.

## **1 ESTUDO I : IDENTIFICAÇÃO DO PLATÔ NO CONSUMO MÁXIMO DE OXIGÊNIO: REVISÃO SISTEMÁTICA DOS MÉTODOS PROPOSTOS NA LITERATURA**

### **1.1 INTRODUÇÃO**

O consumo de oxigênio ( $\text{VO}_2$ ) durante o exercício representa a capacidade integrada dos sistemas pulmonar, cardiovascular e muscular de captar, transportar e utilizar  $\text{O}_2$  para realizar trabalho muscular (POOLE; WILKERSON; JONES, 2008). Nesse sentido, o consumo máximo de oxigênio ( $\text{VO}_{2\text{máx}}$ ) tem sido uma das variáveis fisiológicas mais utilizadas para avaliar a aptidão cardiorrespiratória, tanto para a prescrição de exercício físico, quanto para a análise cardiorrespiratória de pacientes, sendo assim uma variável associada ao desempenho esportivo e a saúde. O  $\text{VO}_{2\text{máx}}$  pode ser limitado por fatores como ventilação, diferença arteriovenosa, débito cardíaco, saturação da hemoglobina para o oxigênio e limitações do músculo esquelético (BASSET; HOWLEY, 2000; DENADAI, 1995).

Tradicionalmente, o  $\text{VO}_{2\text{máx}}$  é identificado pela ocorrência do platô no  $\text{VO}_2$  durante um teste incremental. A ideia foi inicialmente proposta por Hill e Lupton (1923) que descreveram que, próximo ao fim do exercício, o sujeito atinge uma estabilização no consumo de oxigênio, mesmo que haja incremento de carga. O critério clássico para a identificação do fenômeno do platô foi proposto por Taylor et al. (1955) que estabeleceu que, com uma inclinação de 2,5% na esteira ergométrica, o platô ocorre quando, apesar do incremento de carga, o  $\text{VO}_2$  se estabiliza ou não aumenta mais do que  $150 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1}$  ou  $2,1 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ . No entanto, esse método sofre críticas por se tratar de um critério antigo, que utilizou um protocolo descontínuo, em circunstâncias diferentes das utilizadas atualmente e que não atende a população em geral (EDVARSEN; HEM; ANDERSEN, 2014; MYERS et al., 1989).

Outro ponto de divergência entre os artigos é o intervalo de tempo de análise utilizado para a identificação do platô de  $\text{VO}_{2\text{máx}}$ , ou seja, o intervalo de análise a ser considerado no final do teste para verificação da estabilização (platô) no  $\text{VO}_{2\text{máx}}$ , pois pode interferir na análise estatística.

Com a evolução dos analisadores de gases, hoje é possível a mensuração do consumo de oxigênio respiração a respiração, porém a maioria dos estudos ainda consideram procedimentos de identificação antigos baseados em médias de trinta ou sessenta segundos (LIMA-SILVA et al., 2006). As evidências têm demonstrado que, quanto maior o intervalo de análise, menor a ocorrência de platô no  $\text{VO}_2$  e, quanto menor esse intervalo, maior a sua ocorrência (ASTORINO et al., 2005).

Além disso, percebe-se uma grande variação no percentual de sujeitos que atingem o platô do  $\text{VO}_{2\text{máx}}$ . Fatores que podem ser fonte dessa variabilidade incluem diferentes protocolos de teste, que impõem taxas de incremento de carga distintas e divergências de critérios metodológicos ou estatísticos utilizados para identificar a ocorrência do platô (LUCIA et al., 2006). Gordon et al. (2011) destaca que outro fator que pode provocar a baixa ocorrência do platô é a capacidade anaeróbica, pois a literatura descreve a fadiga periférica como uma das possíveis causas para que o indivíduo não chegue de fato a intensidade do esforço cardiorrespiratório máximo, tornando inviável a identificação da estabilização do consumo de oxigênio, pela exaustão dos mecanismos determinantes do  $\text{VO}_{2\text{máx}}$ .

Devido as controvérsias e divergências a respeito da identificação da ocorrência do platô, critérios secundários para a confirmação do  $\text{VO}_{2\text{máx}}$  a partir da identificação do maior valor de  $\text{VO}_2$  atingido durante o teste ( $\text{VO}_{2\text{pico}}$ ) têm sido propostos. Como exemplo, pode-se destacar valores percentuais da frequência cardíaca máxima estimada ( $\%\text{FC}_{\text{máx}}$ ), da taxa de troca respiratória (RTR), de lactacidemia, dentre outros utilizados para a confirmação de teste máximo (GORDON et al., 2012b). Contudo, embora constitua uma alternativa, o emprego do  $\text{VO}_{2\text{pico}}$  não explica o motivo de tantas inconsistências na identificação do  $\text{VO}_{2\text{máx}}$  pelo platô.

Em decorrência da lacuna na literatura relativa à identificação do platô do  $\text{VO}_{2\text{máx}}$ , estabeleceu-se como principal propósito desta revisão sistemática, investigar os métodos de identificação e a ocorrência do platô do  $\text{VO}_{2\text{máx}}$ , descrevendo os procedimentos para coleta de dados e suas análises.

## **1.2 JUSTIFICATIVA**

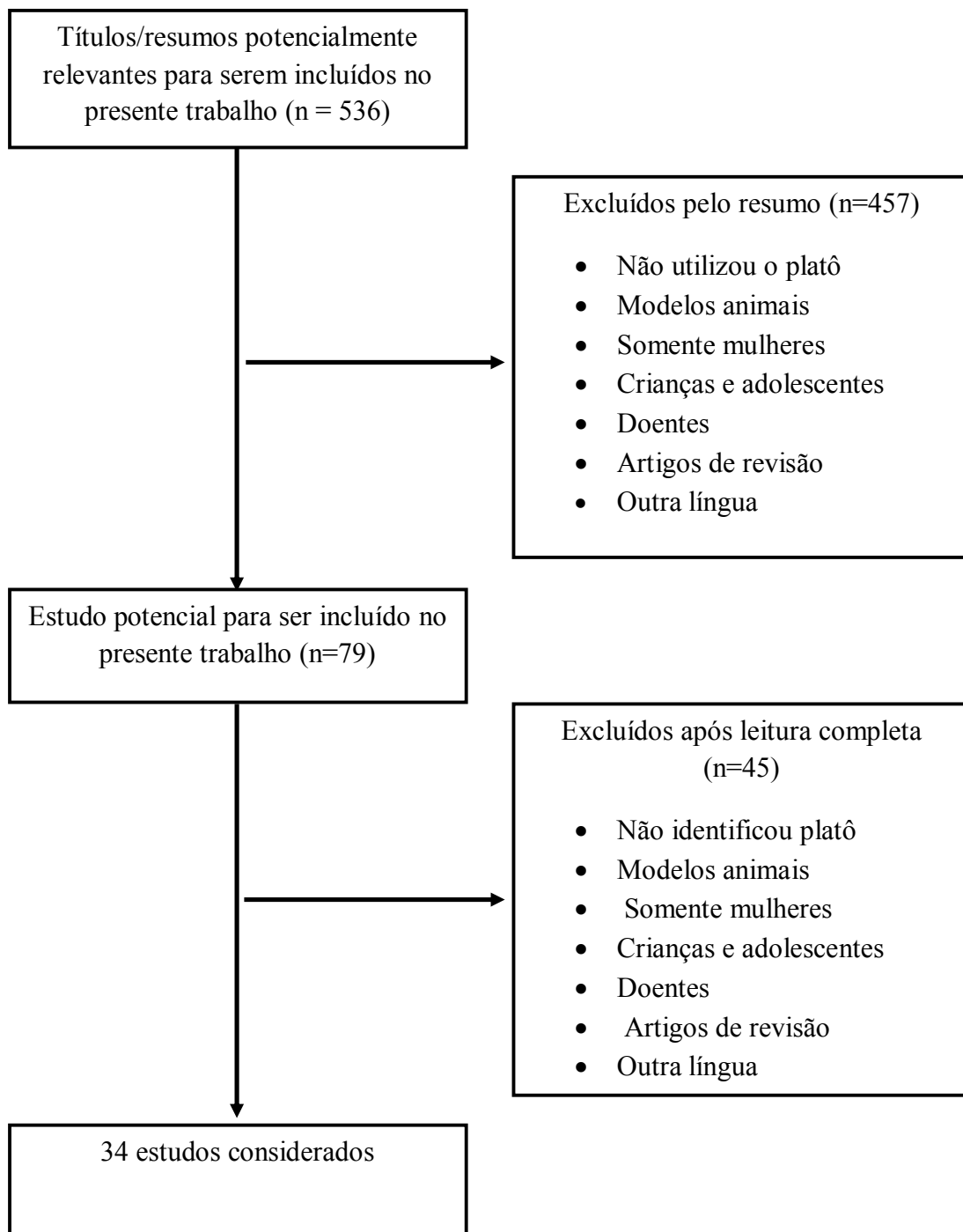
A importância deste estudo se justifica por abordar um procedimento amplamente utilizado, mas que não apresenta um consenso quanto sua obtenção. Desta forma, este estudo poderá contribuir para um maior esclarecimento a cerca do platô no consumo de oxigênio.

## **1.3 OBJETIVO**

Apresentar uma revisão sistemática de literatura referente ao platô de  $\text{VO}_{2\text{máx}}$ .

## 1.4 MÉTODOS

A estratégia seguida neste estudo para alcançar o objetivo proposto consistiu de realizar uma busca sistematizada nas bases de dados PUBMED (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed>) e BIREME (<http://www.bireme.br/php/index.php>) no período de Abril de 2015 a Abril de 2016. Os seguintes descritores foram usados para a busca no título/resumo (Title/Abstract) de todas as bases: “plateau oxygen uptake”, “plateau VO<sub>2</sub> exercise”, “plateau VO<sub>2</sub> maximal exercise”, “plateau maximal oxygen uptake”, “plateau maximal VO<sub>2</sub>” e “VO<sub>2</sub><sub>máx</sub> platô”. Dos resultados, excluíram-se trabalhos cujos sujeitos eram animais, mantendo-se 536 estudos restantes. Destes, foram excluídos 457 artigos que, no resumo, esclareciam que utilizavam modelos animais, indivíduos com patologias, apenas mulheres ou crianças e adolescentes, ou eram artigos de revisão, escritos em outra língua além do português e inglês ou que não utilizavam o platô como método para verificação do VO<sub>2</sub><sub>máx</sub>. Após as exclusões, restaram 79 estudos, objeto da análise inicial deste trabalho. Após a leitura dos 79 artigos, 45 trabalhos foram excluídos seguindo os critérios de exclusão anteriormente mencionados e um por se tratar de carta ao editor. Portanto, efetivamente, 34 artigos foram analisados e embasaram as conclusões obtidas neste estudo.



**Figura 1.** Sistematização sequencial

## 1.5 RESULTADOS

Inicialmente serão apresentadas e classificadas as metodologias de identificação empregadas nos estudos revisados e, posteriormente, será exposto o comportamento da incidência do platô e sua relação com a metodologia utilizada.

A sistematização apresentada na seção anterior resultou em 34 artigos publicados entre os anos de 1979 a 2014.

A Tabela 1 apresenta um resumo das principais características das metodologias empregadas nos estudos selecionados. Nota-se que o ergômetro mais utilizado foi o cicloergômetro (44%), seguido de esteira ergométrica (38%), e que o protocolo mais aplicado foi o de rampa (65%).

Os critérios de análise foram agrupados em duas categorias: o limiar de diferenças consecutivas (LDC), no qual a identificação do  $VO_{2\text{platô}}$  ocorria a partir de pontos de corte fixos, determinados em valores percentuais ou absolutos; e o limiar de *slope* (LS), onde a identificação da inclinação (*slope*) do comportamento do  $VO_2$  era feita por meio de análise estatística de regressão, estabelecendo um valor fixo para a variação do *slope*. O critério mais adotado nos estudos incluídos no presente trabalho foi o do limiar de diferenças consecutivas (LDC) com 85%, enquanto que o limiar de *slope* (LS) foi empregado em 12% dos trabalhos.

A Tabela 2 apresenta os tempos de corte empregados para a identificação do platô no limiar de diferenças consecutivas, normalmente os tempos são utilizados de forma contínua (análise com valores consecutivos) ou em médias (análise com valores médios). Nove trabalhos lidaram com os tempos de forma contínua, sendo 1 com vinte segundos, 6 com trinta segundos e 2 com sessenta segundos. Em relação aos artigos que trabalham com  $VO_2$  médios, 4 utilizaram valores compreendidos no intervalo de 10 a 20 segundos, 8 com o tempo de 30 segundos e 2 com valores em um intervalo maior que 30 segundos. Um trabalho também utilizou cinco respirações consecutivas para o reconhecimento do platô e 8 não apresentaram os tempos utilizados.

Cinco trabalhos foram realizados com o limiar de *slope*, sendo 1 com médias de 15 segundos, 1 com médias de 30 segundos, 1 com médias de 8 respirações consecutivas, 1 com médias de 20 segundos e 1 com os últimos 30 segundos do teste. Ainda foi encontrado um trabalho que utilizou as duas identificações de limiares em sua metodologia.

A Tabela 3 mostra o percentual de ocorrência em relação a cada variável. Nota-se que dentre os ergômetros mais utilizados (esteira e cicloergômetro), a esteira se destaca com maior ocorrência de platô do  $VO_{2\text{máx}}$  (58,2%), embora as variações sejam grandes tanto para o uso da esteira (21,4% a 100%), quanto para os outros ergômetros. Quanto aos protocolos utilizados no teste cardiopulmonar, os artigos que não o especificaram tiveram maior ocorrência do platô (57%), no entanto, os protocolos de rampa e escalonado não se distanciaram muito (49,1% e 47,6%, respectivamente). Em relação aos tempos de análise, observa-se um percentual bem semelhante entre os critérios, exceto o de 5R (cinco respirações), no entanto este representa somente um trabalho. Logo, para esta análise, foi desconsiderado o trabalho com 5R e os estudos que não especificaram os tempos de análise empregados na pesquisa. A maior média de ocorrência foi observada para os artigos que utilizaram o tempo entre 10 a 20 segundos para análise do platô (52,9%) e a menor para os trabalhos que utilizaram 30 segundos (40,7%). O maior percentual também foi encontrado nos trabalhos com tempos entre 10 a 20 segundos (88%) e o menor percentual nos trabalhos com análise contínua (11%).

Em relação aos critérios, o LS apresentou maior média percentual (52,7%) e o LDC menor percentual médio (4,8%). No entanto, ambos apresentaram o mesmo valor para a maior ocorrência de platô (100%).

O Quadro 1 mostra a caracterização dos estudos sobre ocorrência do platô de  $VO_{2\text{máx}}$  em relação às variáveis. Essa sumarização foi realizada de forma descritiva e generalizada, resumindo os principais achados do presente estudo. Não foi possível apresentá-la de forma quantitativa, uma vez que os estudos muitas vezes não apresentam os resultados com valores inteiros e de forma quantitativa.



**Tabela 1-** Resumo da revisão sistemática de literatura

<i>Ergômetro</i>	Esteira= 13(38%)	Cicloergômetro= 15(44%)	Remoergômetro= 1(3%)	Ambos (esteira e cicloergômetro)= 5(15%)
<i>Protocolo</i>	Rampa= 22(65%)	Escalonado=10(29%)	Não especificado=2(6%)	
<i>Critérios</i>	Limiar de diferenças consecutivas (LDC)= 29(85%)	Limiar de slope (LS)= 4(12%)*	Ambos=1(3%)	

Os valores são apresentados em percentual em relação ao número de artigos (n = 34). Legendas: LDC - Limiar de Diferenças Consecutivas ( $VO_{2\text{platô}}$  é identificado se diferenças consecutivas do  $VO_2$  não ultrapassam um limiar preestabelecido em valores percentuais ou absolutos); LS - Limiar de slope (determinação do slope por meio de análise de regressão e caracterização do platô se o slope estimado não ultrapassa determinado limiar). \*Acima de 2 min (01 estudo), tempos de análise diversificados (02 estudos), blocos de 8 respirações (01 estudo). Fonte: Os autores.

**Tabela 2-** Intervalo de amostras do limiar de diferenças consecutivas

Contínuo*	Médias de 10-20s	Médias de 30s	Médias >30s	5R	Não especificado
9	4	8	2	1	8

\*Contínuo (análise com valores consecutivos): Um trabalho utilizou 20s, seis utilizaram 30s e dois utilizaram 60s.

5R= 5 respirações consecutivas. A contagem possui trabalhos com mais de um tempo de análise para platô.

Fonte: Os autores.

**Tabela 3** – Ocorrência do platô em valores médios, mínimos e máximos

Variável		Média (%)	Mínimo(%)	Máximo(%)
<b><i>Ergômetro</i></b>	Esteira	58,2	21,4	100
	Cicloergômetro	42,2	4,8	88
	Remoergômetro	40	40	40
	Ambos*	48,6	8	100
<b><i>Protocolo</i></b>	Rampa	49,1	4,8	100
	Escalonado	47,6	11,1	100
	Não especificado	57	44	78
<b><i>Tempos de análise</i></b>	Contínuo	50,2	8	86
	Entre 10-20	52,9	11	88
	30s	40,7	17	85
	>30s	57	44	78
	5R	89	84,7	93,3
	Não especificado	43,9	4,8	100
<b><i>c/Critérios</i></b>	LDC	48,9	4,8	100
	LS	52,7	12,5	100

LDC- Limiar de diferenças consecutivas; LS- Limiar de slope.

\*Ambos: correspondem aos ergômetros esteira e cicloergômetro.

Fonte: Os autores.

**Quadro 1** - Caracterização dos estudos sobre ocorrência do platô de  $\text{VO}_{2\text{máx}}$  em relação às variáveis

Características dos estudos que apresentaram maior ocorrência de platô ( $>80\%$ ,  $n = 7$ ):

- A maioria eram indivíduos ativos ou atletas;
- Todos utilizaram o protocolo de rampa, exceto um estudo<sup>6</sup>;
- Todos utilizaram o limiar de diferenças consecutivas, exceto um estudo<sup>4</sup>;
- A maioria utilizou o critério de Taylor et al.;
- Em todos os estudos a amostra era jovem, com a idade aproximada de 30 anos e somente um destes estudos trabalhou também com idosos<sup>2</sup>.

Limitações observadas nos estudos, a respeito da identificação da ocorrência do platô do  $\text{VO}_2$ :

- Não apresentaram reprodutibilidade;
- Variações entre amostras de características diferentes (treinados em força, mulheres vs homens, ativos vs treinados vs sedentários);
- Diferentes critérios combinados a diferentes protocolos e métodos.

Referência dos artigos: (1-ASTORINO et al., 2005; 2-Brink-Elfegoun et al., 2007; 3-Lima-Silva 6-STACHENFELD et al., 1992;).

Fonte: Os autores.

## 1.6 DISCUSSÃO

Esta revisão de literatura se destaca por apresentar não apenas a ocorrência do platô do  $\text{VO}_2$ , mas também os critérios e protocolos utilizados para a sua identificação, por meio de revisão sistemática. Outras revisões abordaram o assunto, no entanto a mais recente observada durante a coleta de dados é do ano de 2008, e somente duas (HOWLEY; BASSET; WELCH, 1995; MIDGLEY et al., 2007) das sete revisões encontradas trataram diretamente sobre os critérios utilizados na identificação do  $\text{VO}_{2\text{máx}}$  (BASSET; HOWLEY, 1997; HALE, 2008; MIDGLEY; McNAUGHTON; WILKINSON, 2006; MIDGLEY et al., 2009; NOAKES, 1998). Contudo, essas revisões foram realizadas em revistas específicas e não por palavras-chave, como no atual estudo, que possibilita uma maior abrangência de artigos elegíveis.

Os resultados desse estudo mostram que a ocorrência do platô, embora aconteça em um intervalo médio de 40 a 89%, de acordo com o tipo de protocolo do teste, ergômetro, tempo de análise e ponto de corte; as variações de ocorrência são extremamente amplas (4,8 a 100%). Este cenário sinaliza a necessidade de buscar a padronização de uma metodologia de identificação do platô do  $\text{VO}_{2\text{máx}}$ , antes de adotá-lo como um critério para teste máximo.

Como esperado, o protocolo de rampa foi o mais utilizado, uma vez que a literatura destaca que tem havido um aumento no interesse por esse protocolo de teste, por permitir ajustes individualizados na carga de progressão do esforço, de acordo com cada paciente (SILVA; FILHO, 2003). Lemos et al. (2011) comparou três protocolos com diferentes durações de estágios:  $15\text{W}\cdot\text{min}$ ,  $50\text{W}\cdot 3\text{min}$  e  $50\text{W}\cdot 5\text{min}$  utilizando o critério de Taylor et al. (1955) para identificação do platô e concluiu que o estágio de menor duração, que representa o protocolo de rampa, teve maior ocorrência de platô. Contudo, este estudo avaliou um pequeno número de participantes e precisaria ser confirmado em uma investigação mais ampla.

O tempo de análise empregado para identificação do platô teve grande variação, no entanto os mais utilizados foram os tempos entre 10-20s e 30 segundos. Astorino et al. (2005) ressalta que o tempo de análise pode influenciar a ocorrência do platô e relata que tempos mais curtos (respiração a respiração e 15 segundos) têm maior percentual de ocorrência do platô se comparado a tempos mais longos (30 e 60 segundos).

Neste estudo, optou-se por classificar os critérios encontrados em dois grupos: limiar de diferenças consecutivas (LDC); e limiar de *slope* (LS). Esse agrupamento foi estabelecido a partir da observação de que todos os critérios têm como base um ponto de corte/limite ou

utilizam o  $VO_2$ -*slope* na identificação do platô de  $VO_{2máx}$ . Nesse sentido, o LDC foi o critério com maior percentual de uso, provavelmente por sua simplicidade. Porém, persiste o problema da falta de consenso entre os pesquisadores a respeito de qual seria o critério mais adequado a ser utilizado, sendo assim, dentro desta classificação existem muitos outros critérios que possuem a mesma base, mas utilizam diferentes pontos de corte (variação do  $VO_2$  considerada para identificação do platô). Para o LDC, o limiar sugerido por Taylor et al. (1955) de  $150 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1}$  ou  $2,1 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ , é o mais utilizado, contudo, alguns estudos empregam o critério mais restritivo de  $50 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1}$  (GORDON et al., 2011), ou variações de 5% (GIBSON et al., 1999) que podem ser identificados a partir de valores padronizados de outras pesquisas ou criados no próprio estudo a partir de variações observadas do  $VO_2$  em ritmo de estado estável. Nesse contexto, Howley et al. (1995) corrobora com esses achados em sua revisão de literatura ao relatar a grande variação nos pontos de corte como um dos fatores que podem influenciar na dificuldade de atendimento aos critérios de um platô de  $VO_{2máx}$ .

Por outro lado, alguns autores investigaram o comportamento do  $VO_2$  buscando fundamentar sua análise em técnicas estatísticas. Em geral, essa abordagem é realizada a partir da construção das curvas do *slope* (ASTORINO et al., 2005; MYERS et al., 1989; POOLE; WILKERSON; JONES, 2008; YOON; KRAVITZ; ROBERGS, 2007). Nesse estudo, esse critério foi denominado de limiar de *slope* (LS).

O protocolo de rampa foi o mais utilizado nos estudos supracitados, o que parece ser favorável, uma vez que permite a coleta dos registros de  $VO_2$  com incrementos mais suavizados.

Percebeu-se grande variação na incidência de platô. Esse resultado pode ser explicado como se segue: Astorino et al. (2005) investigou atletas de endurance, indivíduos ativos e atletas de força, observando um percentual de ocorrência do platô de 66%, 82% e 60%, respectivamente. Portanto, os autores apresentaram um percentual de platô mais acentuado para os indivíduos ativos, quando comparado aos atletas. Essa variável de aptidão física não foi objeto do presente estudo, pois ao estudar essa variável, assume-se que a metodologia de identificação do platô está bem estabelecida na literatura. No entanto, isso pode ser contestado pelos resultados encontrados por Myers et al. (1989), que encontra uma reprodutibilidade de 50% na ocorrência do platô quando utilizado o critério LS. Porém, esses autores trabalharam com um número muito pequeno de indivíduos ( $n = 6$ ) e os mesmos admitem que o método

aplicado para coleta da amostragem (média de 8 respirações) pode apresentar erros, pois é possível que ocorra demora na identificação do platô, provocando negligência desse fenômeno. O mesmo acontece nas análises dos demais artigos de LS considerados, uma vez que não trabalham com os dados contínuos, selecionando observações a partir de coletas aleatórias (POOLE; WILKERSON; JONES, 2008; YOON; KRAVITZ; ROBERGS, 2007). Outro estudo que investigou a duração do teste para checar a influência sobre a ocorrência do platô apresenta importante variação (12,5% a 75%) de acordo com as durações compreendidas entre 5 a 16 minutos (YOON; KRAVITZ; ROBERGS, 2007), porém os autores escolheram de maneira arbitrária apenas os últimos 30s para análise do slope, o que pode comprometer a análise estatística.

Esses achados sobre a ocorrência e métodos de identificação do  $VO_{2\text{platô}}$  apresentados no presente estudo são preocupantes, pois demonstram que existe uma fragilidade nos métodos de análise do platô que perduram por décadas.

## 1.7 CONCLUSÃO

Esta revisão de literatura apresenta informações valiosas que demonstram algumas fragilidades na identificação do platô do  $\text{VO}_{2\text{máx}}$ . Ao longo dos anos, muitas mudanças ocorreram nos protocolos de teste progressivo, como, por exemplo, a utilização do protocolo de rampa, contudo, diversos pesquisadores ainda se atêm à avaliar o platô pelo método pioneiro de Taylor et al. (1955) que utilizou o LDC na perspectiva de testes escalonados. Os estudos mais recentes, mesmo adaptando o LDC para o contexto de suas amostragens, apresentam-se limitados, pois ao utilizarem o protocolo de rampa, que apresenta incrementos de cargas muito variados, envolvem variações no tempo de análise para a coleta dos dados, o que constitui um fator de expressão que, inevitavelmente interfere na ocorrência do platô.

Os problemas de ocorrência e metodologia da identificação do platô do  $\text{VO}_{2\text{máx}}$  apresentados nesta revisão sistemática, resultam em trabalhos muito divergentes quanto ao percentual de ocorrência do platô e em critérios confusos e reproduzidos de maneira equivocada. Desta forma, se faz necessário que os pesquisadores somente após sólida fundamentação nesse sentido, investiguem características como: reprodutibilidade; influências biológicas e de aptidão sobre o comportamento de platô, para que encontrem um modelo de análise estatístico apropriado a fatores como: o protocolo do teste (escalonado ou de rampa) e o tempo de análise (contínuo ou por amostragens).

## 1.8 REFERÊNCIAS

- ALEXANDER, R. P.; MIER, C. M. Achievement of  $VO_{2max}$  criteria during a continuous graded exercise test and a verification stage performed by college. **Journal of Strength and Conditioning Research**, Champaign, v. 26, n. 10, p. 185-191, 2011.
- ASTORINO, T. A.; WILLEY, J.; KINNAHAN, J.; LARSSON, S.M, WELCH, H.; DALLECK, L. C. Elucidating determinants of the plateau in oxygen consumption at  $VO_{2max}$ . **British Journal of Sports Medicine**, London; v. 39, n. 9, p. 655-660, 2005.
- ASTRAND, P. Experimental studies of physical working capacity in relation to sex and age. Copenhagen: Munksgaard, p. 119, 1952.
- BABCOCK, M. A.; PATERSON, D. H.; CUNNIGHAM, D. A. Influence of ageing on aerobic parameters determined from a ramp test. **European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology**, Berlim, v. 65, n. 2, p. 138-143, 1992
- BASSET, D. R.; HOWLEY, E. T. Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, Denver; v. 32, n. 1, p. 70-84, 2000.
- BASSET, D. R.; HOWLEY, E. T. Maxymal oxygen uptake: “classical” versus “contemporary” viewpoints. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, Hagerstown, v. 29, n. 5, p. 591-603, 1997.
- BILLAT, V. L.; HAMARD, L.; KORALSZTEIN, J. P. The influence of exercise duration at  $VO_{2max}$  on the off-transient pulmonary oxygen uptake phase during high intensity running activity. **Archives of Physiology and Biochemistry**, London, v. 110, n. 5, p. 383-392, 2002.
- BISI, M. C.; STAGNI, R.; GNUDI, G. Automatic detection of maximal oxygen uptake and ventilator threshold. **Journal of Strength and Conditioning Research**, Champaign, v. 41, n. 1, p. 18-23, 2011.
- BRINK-EFFEGOUN, T.; HOLMBERG, H. C.; EKBLÖM, M. N.; EKBLÖM, B. Neuromuscular and circulatory adaptation during combined arm and leg exercise with different maximal workloads. **European Journal of Applied Physiology**, Berlim, v. 101, p. 603-611, 2007.
- DAY, J. R.; ROSSITER, H. B.; COATS, E. M.; SKASICK, A.; WHIPP, B. J. The maximally attainable  $VO_2$  during exercise in humans: the peak vs. maximum issue. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v. 95, n. 5, p. 1901-1907, 2003.
- DENADAI, B. S. Consumo máximo de oxigênio: fatores determinantes e limitantes. **Revista Brasileira de Atividade Física e Saúde**, Londrina v. 1, n. 1, p. 84-94, 1995.



DUNCAN, G. E.; HOWLEY, E. T.; JHONSON, B. N. Applicability of  $VO_{2max}$  criteria: discontinuous versus continuous protocols. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, Hagerstown, v. 29, n. 2, p. 273-278, 1997.

EDVARDBSEN, E.; HEM, E.; ANDERSSSEN, S. A. End criteria for reaching maximal oxygen uptake must be strict and adjusted to sex and age: a cross-sectional study. **Plos One**, San Francisco, v. 9, n. 1, p. 1-8, 2014.

EDWARDS, A. M. Respiratory muscle training extends exercise tolerance without concomitant change to peak oxygen uptake: Physiological, performance and perceptual responses derived from the same incremental exercise test. **Respirology**, Pokorski, v. 18, n. 6, p. 1022-1027, 2013.

GIBSON, S. T. A.; LAMBERT, M. I.; HAWLEY, J. A.; BROOMHEAD, S. A.; NOAKES, T. D. Measurement of maximal oxygen uptake from two different laboratory protocols in runners and squash players. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, Hagerstown, v. 31, n. 8, p. 1226-1229, 1999.

GORDON, D.; HOPKINS, S.; KING, C.; KEILLER, D.; BARNES, R. Incidence of the plateau at  $VO_{2max}$  is dependent on the anaerobic capacity. **International Journal of Sports Medicine**, Stuttgart, v. 32, n. 1, p. 1-6, 2011.

GORDON, D.; SCHAITEL, K.; PENNEFATHER, A.; GERNIGON, M.; KEILLER, D.; BARNES, R. The incidence of plateau at  $VO_{2max}$  is affected by a bout of prior-priming exercise. **Clinical Physiology and Functional Imaging**, Oxford, v. 32, n. 1, p. 39-44, 2012a.

GORDON, D.; MEHTER, M.; GERNIGON, M.; CADDY, O.; KEILLER, D.; BARNES, R. The effects of exercise modality on the incidence of plateau at  $VO_{2max}$ . **Clinical Physiology and Functional Imaging**, Oxford, v. 32, n. 5, p. 394-399, 2012b.

GORDON, D.; WOOD, M.; PORTER, A.; VETRIVEL, V.; GERNIGON, M.; CADDY, O.; MERZBACH, V.; KEILLER, D.; BAKER, J.; BARNES, R. Influence of blood donation on the incidence of plateau at  $VO_{2max}$ . **European Journal of Applied Physiology**, Berlin, v. 114, n. 1, p. 21-27, 2014.

HALE, T. History of developments in sport and exercise physiology: A. V. Hill, maximal oxygen uptake, and oxygen debt. **Journal of Sports Science**, v. 26, n. 4, p. 365-400, 2008.

HILL, A. V.; LUPTON, H. Muscular exercise, lactic acid, and the supply and utilization of oxygen. **Ergebnisse der Physiologie**, Berlin, v. 24, n.1, p.43-51, 1923.

HOGG, J. S.; HOPKER, J. G.; MAUGER, A. R. The self-paced  $VO_{2max}$  test to assess maximal oxygen uptake in highly trained runners. **International Journal of Sports Physiology and Performance**, Champaign, v. 10, n. 2, p. 172-177, 2015.

HOWLEY, E. T.; BASSET, D. R.; J. R.; WELCH, H. G. Criteria for maximal oxygen uptake: review and commentary. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, Hagerstown, v. 27, n. 9, p. 1292-1301, 1995.

LACOUR, J. R.; MESSONIER, L.; BOURDIN, M. T. The leveling-off of oxygen uptake is related to blood lactate accumulation. Retrospective study of 94 elite rowers. **European Journal of Applied Physiology**, Berlim, v. 101, n. 2, p. 241-247, 2007.

LEHMANN, G.; SCHMID, S.; AMMER, R.; SCHÖMIG, A.; ALT ECKHARD. Evaluation of a new treadmill exercise protocol. **Chest**, Chicago, v. 112, n. 1, p. 98-106, 1997.

LEMONS, T.; NOGUEIRA, F. S.; POMPEU, F. A. M. S. Influência do protocolo ergométrico na ocorrência de diferentes critérios de esforço máximo. **Revista Brasileira de Medicina do Esporte**, São Paulo, v. 17, n. 1, p. 18-21, 2011.

LIMA-SILVA, A. E.; BERTUZZI, R. C. M.; GEVAERD, M. S.; OLIVEIRA, F. R. Identificação do platô do consumo de oxigênio com diferentes tempos de análise. **Revista Brasileira de Ciência e Movimento**, São Caetano do Sul, v. 14, n. 1, p. 7-12, 2006.

LOVELL, D.; CUNEO, R.; DELPHINUS, E.; GASS, G. Legs strength and the  $VO_{2max}$  of older men. **International Journal of Sports Medicine**, Stuttgart, v. 32, p. 271-276, 2011.

LUCIA, A.; RABADÁN, M.; HOYOS, J.; HERNÁNDEZ-CAPILLA, M.; PÉREZ, M.; SAN JUAN, A. F.; EARNEST, C. P.; CHICHARRO, J. L. Frequency of the  $VO_{2max}$  plateau phenomenon in world-class cyclists. **International Journal of Sports Medicine**, Stuttgart, v. 27, n. 12, p. 984-992, 2006.

MAGNAN, R. E.; KWAN, B. M.; CICCOLO, J. T.; GURNEY, B.; MERMIER, C. M.; BRYAN, A. D. Aerobic capacity testing with inactive individuals: the role of subjective experience. **Journal of Physical Activity & Health**, Champaign, v. 10, n. 2, p. 271-279, 2013.

MAUGER, A.; SCULTHORPE, N. A new  $VO_{2max}$  protocol allowing self-pacing in maximal incremental exercise. **British Journal of Sports Medicine**, London, v. 46, n. 1, p. 59-63, 2012.

MIDGLEY, A. W.; CARROL, S.; MARCHANT, D.; MCNAUGHTON, L. R.; SIEGLER, J. Evaluation of true maximal oxygen uptake based on a novel set of standardized criteria. **Applied Physiology Nutrition and Metabolism**, Ottawa, v. 34, n. 2, p. 115-123, 2009.

MIDGLEY, A. W.; MCNAUGHTON, L. R.; POLMAN, R.; MARCHANT, D. Criteria for determination of maximal oxygen uptake. **Sports Medicine**, v. 37, n. 12, p. 1019-1028, 2007.

MIDGLEY, A. W.; MCNAUGHTON, L. R.; WILKINSON, M. Is there an optimal training intensity for enhancing the maximal oxygen uptake of distance runners? **Sports Medicine**, v. 36, n. 2, p. 117-132, 2006.

MYERS, J.; WALSH, D.; BUCHANAN, N.; FROELICHER, V. F. Can maximal cardiopulmonary capacity be recognized by a plateau in oxygen uptake? **Chest**, Chicago, v. 96, n. 6, p. 1312-1316, 1989.

NIEMELA, K.; PALATSI, I.; TAKKUMEN, J. The oxygen uptake-Work-Output relationship of runners during graded cycling exercise: sprinters vs. endurance runners. **British Journal of Sports Medicine**, London, v. 14, n. 4, p. 204-209, 1980.

NOAKES, T. D. Maximal oxygen uptake: "classical" versus "contemporary" viewpoints: a rebuttal. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, Hagerstown, v. 30, n. 9, p. 1381-1398, 1998.

POOLE, D. C.; WILKERSON, D. P.; JONES, A. M. Validity of criteria for establishing maximal O<sub>2</sub> uptake during ramp exercise tests. **European Journal of Applied Physiology**, Berlin, v. 102, n. 4, p. 403-410, 2008.

SILVA, O. B.; FILHO, D. C. S. A new proposal to guide velocity and inclination in the ramp protocol for the treadmill ergometer. **Arquivo Brasileiro de Cardiologia**, v. 81, n. 1, p. 48-53, 2003.

SLONIGER, M. A.; CURETON, K. J.; CARRASCO, D. I.; PRIOR, B. M.; ROWE D. A.; THOMPSON, R. W. Effect of the slow-component rise in oxygen uptake on VO<sub>2max</sub>. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, Hagerstown, v. 28, n.1, p. 72-78, 1996.

STACHENFELD, N. S.; ESKENAZI, M.; GLEIM, G. W.; COPLAN, N. L.; NICHOLAS, J. A. Predictive accuracy of criteria used to assess maximal oxygen consumption. **American Heart Journal**, Saint Louis, v. 123, n. 4, p. 922-925, 1992.

SUN, X.; HANSEN, J. E.; STRINGER, W. W. Oxygen uptake efficiency plateau: physiology and reference values. **European Journal of Applied Physiology**, Berlin, v. 112, n. 3, p. 919-928, 2012.

TAYLOR, H. L.; HENSCHER, A.; BUSKIRK, E. Maximal oxygen uptake as na objective measure of cardio-respiratory performance. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda , v. 8, p. 73-80, 1955.

VELLA, C. A.; MARKS, D.; ROBERGS, R. A. Oxygen cost of ventilation during incremental exercise to VO<sub>2max</sub>. **Respirology**, Pokorski, v. 11, n. 2, p. 175-181, 2006.

WISWELL, R. A.; VRIES, H. A. Time course of O<sub>2</sub>-pulse during various tests of aerobic Power. **European Journal of Applied Physiology**, Berlin, v. 41, n. 4, p. 221-232, 1979.

YOON, B. K.; KRAVITZ L.; ROBERGS, R.  $VO_{2max}$ , protocol duration, and the  $VO_2$  plateau. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, Hagerstown, v. 39, n. 7, p. 1186-1192, 2007.

## **2 ESTUDO II: IDENTIFICAÇÃO DO PLATÔ NO CONSUMO MÁXIMO DE OXIGÊNIO: PROPOSTA E APLICAÇÃO DE UM NOVO MODELO DE ANÁLISE**

### **2.1 INTRODUÇÃO**

A mensuração do consumo máximo de oxigênio ( $\text{VO}_{2\text{máx}}$ ) é realizada há mais de meio século, sendo uma variável fisiológica muito utilizada para a avaliação da capacidade cardiorrespiratória e para avaliações do treinamento esportivo. O  $\text{VO}_{2\text{máx}}$  normalmente é obtido a partir do teste cardiopulmonar de exercício (TCPE) e realizado com protocolos incrementais, ou seja, contínuo ou com cargas de trabalho crescente para cada estágio. Estes protocolos são classificados como escalonado, rampa e carga constante. Dentre estes, tem crescido a utilização do protocolo de rampa no TCPE, permitindo maior suavidade e individualização no aumento de carga, uma vez que a carga é elevada de forma contínua e constante em um dado intervalo de tempo, evitando mudanças bruscas no recrutamento de unidades motoras ou alterações metabólicas relacionadas a protocolos incrementais (MYERS et al., 2014; URSO; VENÂNCIO, 2010). A primeira proposta específica para o teste de rampa foi iniciada por Myers et al. (1991), concluindo a partir deste estudo que erros associados ao  $\text{VO}_{2\text{máx}}$  decorrentes de grandes incrementos de cargas foram minimizados e que houve melhor relação linear entre o  $\text{VO}_2$  e a razão da carga aplicada em protocolos com duração aproximada de 10 minutos.

O padrão ouro utilizado para a identificação do  $\text{VO}_{2\text{máx}}$  é uma estabilização (platô) no final do teste máximo. O platô é realizado quando o consumo de oxigênio não aumenta mais apesar do incremento de carga. O alcance desta estabilização apesar da progressão de carga no teste sugere que o débito cardíaco máximo e a extração máxima de oxigênio tenham sido atingidos (HILL; LUPTON, 1923; STACHENFELD et al., 1992). No entanto, nem todos os indivíduos apresentam um platô de  $\text{VO}_{2\text{máx}}$  no final do teste, resultando em um percentual de ocorrência muito variado entre os estudos, com valores de 17% a 98% segundo Stachenfeld et al. (1992). Nestes casos, quando este padrão não é alcançado, o valor mais alto de  $\text{VO}_2$  atingido no teste ( $\text{VO}_{2\text{pico}}$ ) é considerado e utilizam-se critérios secundários como a razão de troca respiratória (RTR), a frequência cardíaca máxima ( $\text{FC}_{\text{máx}}$ ), a concentração sanguínea de lactato [Lac], fadiga percebida e em alguns estudos, a percepção subjetiva de esforço (PSE), para confirmação do teste máximo. Porém, Poole, Wilkerson e Jones (2008) demonstram em seu estudo que os valores limites utilizados para os critérios secundários, podem ser atingidos em

intensidades baixas de esforço como a 73% do  $VO_{2\text{máx}}$ , não demonstrando um verdadeiro teste máximo.

O fato de nem todos os indivíduos apresentarem um platô de  $VO_{2\text{máx}}$  é relacionado na literatura com a variedade dos métodos adotados como: aptidão dos sujeitos, idade, variados critérios para determinação do platô, variedade dos tempos do teste utilizados para a análise e a diversidade de protocolos que variam em sua duração do estágio e incremento e duração total do teste (MIDGLEY et al., 2007; VELLA; MARKS; ROBERGS, 2006; YOON; KRAVITZ; ROBERGS, 2007), assim como a falta de motivação e esforço dos voluntários (MIDGLEY; CARROLL, 2009).

Hill e Lupton (1923) foram os primeiros a descreverem que o consumo de oxigênio aumenta de forma linear ao aumento de velocidade até atingir um valor máximo, que não se altera, mesmo com elevação da carga de trabalho. Corroborando com esse conceito, Taylor et al. (1955) apresenta o critério mais utilizado até hoje, no qual é considerada uma variação máxima de  $150 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1}$  ou de  $2,1 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$  no  $VO_2$  para um aumento de 2,5% na inclinação da esteira, para que haja platô. Apesar do método de Taylor et al. (1955) ter sido desenvolvido com outras metodologias, como protocolo de teste intermitente, longa duração dos estágios, vários dias para aplicação do teste e analisador de gases (Douglas Bag) que atualmente não é mais o padrão, este critério continua sendo utilizado juntamente ao protocolo de rampa. Contudo, essas metodologias podem ser consideradas arcaicas, considerando que, atualmente os analisadores de gases são eletrônicos, permitindo uma mensuração quase instantânea das frações de gás expirado (ASTORINO, 2009). Diversos autores têm criticado esta junção, mostrando em seus estudos que o platô tem pouca eficiência quando aplicado ao protocolo de rampa (DAY et al., 2003; ROSSITER; KOWALCHUK; WHIPP, 2006). Como existe variação entre os sujeitos no  $\Delta VO_2$  (Variação do consumo de oxigênio) para qualquer aumento específico na intensidade do exercício, o critério do platô de  $VO_2$  só seria válido se fosse baseado no declive individual da relação intensidade do exercício. Contudo, a maioria dos critérios utilizados para identificação do platô têm tido como base intervalos fixos e considerado a diferença no  $VO_2$  apenas nos dois ou no último estágio (MIDGLEY et al., 2007). Critérios que tenham como base um método estatístico para identificação do platô tem sido a proposta de estudo de alguns autores como uma alternativa para protocolos incrementais, mais especificamente para o protocolo de rampa (BABCOCK; PATERSON; CUNNINGHAM, 1992; MIDGLEY et al., 2009; MYERS et al., 1989; POOLE; WILKERSON, 2008; YOON; KRAVITZ; ROBERGS, 2007 ). Neste estudo, optou-se por

classificar os critérios encontrados em dois grupos: limiar de diferenças consecutivas (LDC); e limiar de slope (LS). Esse agrupamento foi estabelecido a partir da observação de que todos os critérios têm como base um ponto de corte/limite ou utilizam o  $VO_2\text{-slope}$  na identificação do platô de  $VO_{2\text{máx}}$ . Um ponto interessante, é que a revisão sistemática do estudo I, apontou que todos os artigos que utilizaram o LS consideraram o protocolo de rampa. Evidenciando a percepção, por parte dos autores de que o LDC não é apropriado ao protocolo de rampa.

Diante ao exposto, se faz necessário a proposta de um novo método estatístico de identificação para o platô de  $VO_{2\text{máx}}$ , que considere o teste em toda a sua duração, que seja capaz de acomodar características individuais dos sujeitos e aplicável ao teste de rampa.

## 2.2 JUSTIFICATIVA

Justifica-se a importância deste estudo, uma vez que não há consenso na literatura a respeito do tema e pela falta de métodos individualizados. Sendo assim, o estudo poderá contribuir para divulgar uma nova proposta para identificação do  $VO_{2\text{platô}}$ , capaz de acomodar a individualidade de cada sujeito e que seja bem fundamentado do ponto de vista estatístico; e a testagem desse método em um grupo de corredores. Esse conhecimento certamente contribuirá para interpretações mais qualificadas do fenômeno do platô do  $VO_2$ .

## 2.3 OBJETIVOS

- Propor um novo modelo de análise para o platô de  $VO_{2\text{máx}}$ , utilizando critério individualizado e análise estatística;
- Identificar as características de aptidão física dos sujeitos que realizam ou não um platô de  $VO_{2\text{máx}}$ , pelo modelo proposto.



## **2.4 MATERIAIS E MÉTODOS**

### **2.4.1 Descrição metodológica**

A amostra consistiu de 31 corredores de rua capixabas saudáveis do sexo masculino, com idade entre 18 e 40 anos de idade. Moradores do Estado do Espírito Santo, Brasil. Todos os indivíduos assinaram um termo de consentimento livre e esclarecido.

Os testes cardiopulmonares foram provenientes de um banco de dados do Laboratório de Fisiologia do Exercício da Universidade Federal do Espírito Santo, LAFEX-UFES. Os dados fizeram parte do projeto intitulado Estudo Multifatorial do Desempenho de Atletas Capixabas de Corrida de Rua (EMDCOR), aprovado no Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal do Espírito Santo. sob nº 261.897, de 06/05/2013.

### **2.4.2 Procedimentos**

Foi aplicado um questionário para coleta de informações sobre os voluntários, relatando dados pessoais, médicos, sobre a prática de exercício e de treinamento, assim como sobre aspectos econômicos.

Foi realizada avaliação antropométrica constituída de peso, estatura (balança e estadiômetro da marca Marte LTDA, modelo LC 200, 2009), em que foi possível obter o índice de massa corporal ( $IMC = \text{kg/altura}^2$ ). Também foram realizadas medidas de perimetria (fita antropométrica Sanny medical, 2m) e dobras cutâneas (adipômetro Cescorf, Mitutoyo com precisão de 0,1mm), com avaliação do percentual de gordura por meio do protocolo das sete dobras cutâneas : subscapular, tríceps, peitoral, axilar média, suprailíaca, abdominal e coxa (POLLOCK; WILMORE, 1993). As roupas utilizadas para o procedimento foram: calção, sem camisa e descalço. Todos os dados foram coletados no Laboratório de Fisiologia do Exercício da UFES (LAFEX).

### 2.4.3 Teste cardiopulmonar de exercício (TCPE)

O TCPE possibilitou a análise das seguintes variáveis: ventilação pulmonar (VE), consumo de oxigênio ( $\text{VO}_2$ ), produção de dióxido de carbono ( $\text{VCO}_2$ ), razão de troca respiratória (RTR) e os equivalentes de oxigênio ( $\text{VE}/\text{VO}_2$ ) e de gás carbônico ( $\text{VE}/\text{VCO}_2$ ). O sistema metabólico utilizado foi o CórteX Metalyzer 3B (Leipzig, Alemanha), e esteira uma Super ATL (Inbra Sport, Porto Alegre, Brasil).

Inicialmente foi realizado um eletrocardiograma (ECG) de repouso, de 12 derivações convencionais, pelo médico cardiologista. Em seguida, com o corredor em pé na esteira, foram acoplados os eletrodos para registro do ECG e acompanhamento da frequência cardíaca (FC) durante o esforço. Uma máscara de silicone foi ajustada ao rosto do indivíduo, permitindo respiração pela boca e pelo nariz, sendo conectada ao pneumatacômetro (turbina Triple-V<sup>®</sup>, digital, de uso contínuo para medir do fluxo de ar e análise dos gases expirados). Foi realizada calibração do sistema antes dos testes.

Para o teste foi utilizado o protocolo de rampa com 1% de inclinação, adaptado de Bosch et al. (1990), em tempo estimado entre 8 a 12 minutos. Os indivíduos foram instruídos a interromper o teste por exaustão voluntária. A temperatura da sala foi mantida por meio de ar condicionado em torno de 22°C, seguindo as orientações da Sociedade Brasileira de Cardiologia (MENEGHELO et al., 2010).

### 2.4.4 Identificação do platô no consumo máximo de oxigênio: Proposta de nova metodologia

Os dados referentes ao  $\text{VO}_2$  foram tabelados respiração a respiração em cada teste. Foi realizada regressão linear segmentada com pontos de quebra desconhecidos (MUGGEO, 2003, 2008), sendo o  $\text{VO}_2$  de cada atleta associado à velocidade do exercício, neste sentido supõem-se três momentos: primeiro que consiste nas adaptações do início do teste; o segundo que demarca a progressão linear do  $\text{VO}_2$  em relação à velocidade; e um terceiro momento que apresenta o comportamento do  $\text{VO}_2$  no final do teste. Nesse sentido, a ocorrência de platô pode ser caracterizada pelo *slope* do último segmento igual a zero. No caso em que o atleta realiza platô, o modelo com dois segmentos pode não estimar o ponto de quebra apropriadamente. O que não prejudica a metodologia de identificação proposta (Figura 2).

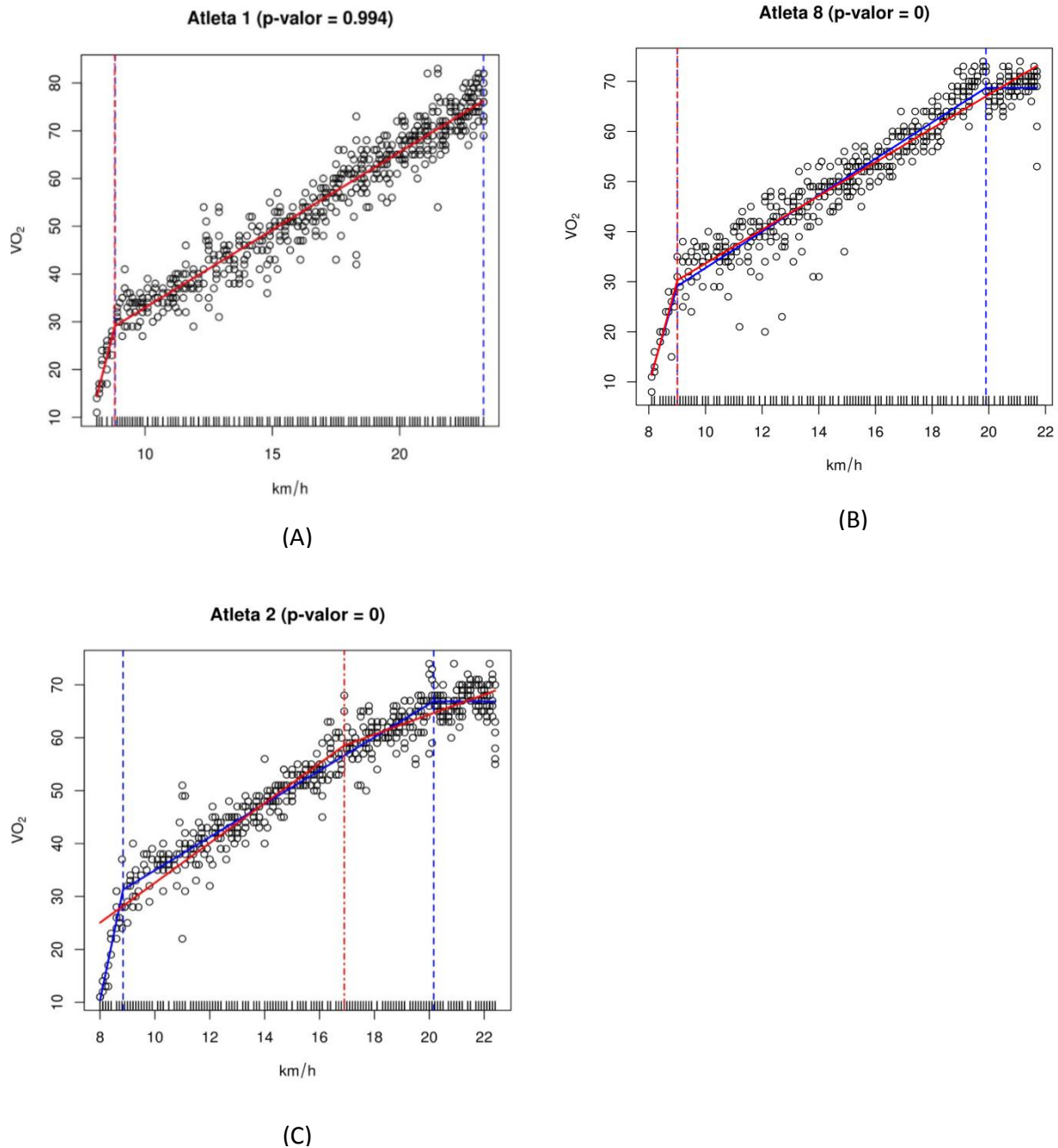
Considere dois modelos segmentados: Modelo (1) com dois segmentos, onde não há ocorrência de platô; e Modelo (2) com três segmentos, sendo o *slope* do último regime fixado em zero, em que há ocorrência de platô. Note que o Modelo (1) pode ser obtido do Modelo (2), desde que o segundo ponto de quebra do Modelo (2) seja maior do que a maior velocidade empregada ao atleta, o que equivale a não observarmos a mudança para o regime de platô. Isto é, o Modelo (1) é obtido do Modelo (2) através de uma restrição imposta a um de seus parâmetros. Nesse caso, o Modelo (1), que é mais simples (pois tem menos parâmetros desconhecidos), é aninhado (ou encaixado) no Modelo (2), que é mais complexo (pois tem mais parâmetros desconhecidos).

Por ter mais parâmetros desconhecidos, sendo assim mais flexível, esperara-se que a estimativa de um modelo mais complexo se ajuste melhor aos dados. Contudo, é possível que os parâmetros fixos no modelo restrito e as respectivas estimativas no modelo complexo não sejam significativamente diferentes, de modo que ambos forneçam quase o mesmo ajuste, não havendo ganho no aumento de complexidade. Nesse contexto, para testar se os modelos simples e complexo eram diferentes estatisticamente, foi utilizado o teste de Wald, sendo a hipótese nula de que ambos os modelos são iguais.

Desse modo, propõe-se neste trabalho utilizar o teste de Wald para testar a hipótese de que os Modelos (1) e (2) são iguais, o que indicaria que não há ocorrência de platô. Assim, o platô é caracterizado por um  $p$ -valor suficientemente pequeno ( $p = < 0,05$ ), indicando que a amostra fornece evidências suficientes para rejeitar a hipótese de que os modelos (1) e (2) são iguais.

A inadequabilidade do Modelo (2) aos dados, caracterizada pela não convergência do método de estimação, pode ocorrer ao utilizar a metodologia acima. Nesse caso, a ocorrência de platô é obviamente descartada, e o  $p$ -valor é convencionado a um.

A metodologia descrita acima foi implementada no ambiente computacional R (R CORE TEAM, 2017) utilizando-se os pacotes *Segmented*, *MASS* e *lmtree*. O código não é apresentado, mas pode ser solicitado aos autores por e-mail.



**Figura 2** - Exemplo do método. Mostra o  $VO_2$  em função da velocidade de corrida (km/h), bem como estimativa dos pontos de mudança de cada regime. (A) Ausência de platô (B) Ocorrência de platô de  $VO_{2\text{máx}}$  e (C) ponto de quebra não estimado apropriadamente.

#### 2.4.5 Análise estatística

Os dados foram apresentados em média e desvio padrão. Foi realizado teste t Student para comparação das características antropométricas e de aptidão dos grupos Platô e Não Platô, quando os dados não passaram na normalidade foi utilizado o teste Mann-Whitney Rank Sum para os dados não paramétricos.

## 2.5 RESULTADOS

O presente estudo analisou 31 sujeitos a partir da proposta de um novo método para identificação do platô do consumo de oxigênio.

Na Tabela 1 são apresentadas as características antropométricas da amostra. Não houve diferença estatística entre os grupos Platô (P) e Não platô (NP), demonstrando semelhança entre os mesmos em todas as características avaliadas.

A Tabela 2 mostra o resultado do modelo proposto. Da amostra, 58,1% apresentaram platô no  $\text{VO}_{2\text{máx}}$ . Para um sujeito, o modelo irrestrito (que representa a ocorrência de platô), não convergiu, o platô nesse caso foi descartado. A velocidade média para o primeiro segmento foi de  $8,67 \pm 0,97$  km/h e para a velocidade do platô foi de  $18,30 \pm 2,71$  km/h.

Na Tabela 3 são apresentados os valores para as variáveis metabólicas, ventilatórias e de velocidade. Não houve diferença estatística para nenhuma das variáveis.

**Tabela 1-** Caracterização antropométrica e etária da amostra

Características	Platô (18)	Não platô (13)	P-Valor
Massa corporal (kg)	68,06±10,99	67,68±10,27	0,924
Estatura (m)	174,36±6,28	171,64±7,61	0,286
Idade (anos)	32,83±5,94	29,69±5,95	0,157
% gordura	11,82±5,44	11,93±3,11	0,950

Valores apresentados como média±DP. Dobras cutâneas avaliadas: tricipital, subescapular, axilar média, peitoral, supra-iliaca, abdominal e coxa. Teste *t* de *Student* para amostras independentes.  
Fonte: Os autores.

**Tabela 2-** Resultado do modelo proposto

Atleta	Vel. da 1ª mudança	Vel. de início do platô	P-valor	Observações
1	8,806	-	0,993	-
2	8,839	20,16	0,000	-
3	8,977	22,41	0,000	-
4	8,335	15,15	0,000	-
5	9,17	14,04	0,000	-
6	9,004	21,73	0,000	-
7	8,599	-	0,000	-
8	9,005	19,9	0,832	-
9	8,827	21,52	0,024	-
10	8,956	-	0,697	-
11	9,097	16,58	0,000	-
12	8,998	12,7	0,010	-
13	9,195	15,21	0,001	-
14	8,872	-	0,394	-
15	8,795	-	0,952	-
16	5,638	19,98	0,000	-
17	7,902	-	0,395	-
18	8,757	18,8	0,000	-
19	9,3	-	0,528	-
20	9,02	19,57	0,000	-
21	9,575	-	0,150	-
22	9,062	18,84	0,000	-
23	9,164	-	0,711	-
24	9,177	18,35	0,000	-
25	9,303	17,51	0,000	-
26	7,4	-	0,086	-
27	9,329	17,43	0,000	-
28	8,741	19,63	0,001	-
29	5,082	-	0,281	-
30	9,082	-	0,064	-
31	8,921	-	1	Modelo irrestrito, não converge
<b>Média</b>	<b>8,67±0,97</b>	<b>18,30±2,71</b>	-	-

Valores apresentados como média±DP. Análise de regressão segmentada- Teste de Wald. Legendas: Vel. da 1ª mudança- Velocidade da primeira mudança. Vel. de início do platô-Velocidade de início do platô.

Fonte: Os autores.

**Tabela 3-** Variáveis metabólicas, ventilatórias e de velocidade

	<b>Platô (18)</b>	<b>Não platô (13)</b>	<b>P-Valor</b>
RTR <sub>máx</sub>	1,13±0,05	1,14±0,11	0,914
FC <sub>máx</sub> (bpm.min <sup>-1</sup> )	187,72±9,65	192,69±13,06	0,265
V <sub>máx</sub> (km.h <sup>-1</sup> )	19,63±3,00	18,90±2,64	0,491
Tempo <sub>máx</sub> (min)	673,88±81,28	680,53±64,42	0,809
VCO <sub>2</sub> VO <sub>2máx</sub> (L.min <sup>-1</sup> )	4,39±0,46	4,26±0,62	0,512
VE <sub>máx</sub> VO <sub>2máx</sub>	134,42±21,63	132,53±17,64	0,798
VO <sub>2máx</sub> (mL.kg <sup>-1</sup> .min <sup>-1</sup> )	60,00±11,15	58,53±8,44	0,694
VO <sub>2máx</sub> (L.min <sup>-1</sup> )	4,01±0,43	3,92±0,47	0,568
VO <sub>2</sub> /FC VO <sub>2máx</sub>	20,02±2,95	20,13±3,20	0,101
V <sub>LA</sub>	13,68±2,65	12,96±2,13	0,734

Valores de média±DP. Teste t de *Student* para amostras independentes. Legendas: RTR<sub>máx</sub>- Razão de troca respiratória máxima; FC<sub>máx</sub>-Frequência cardíaca máxima; V<sub>máx</sub>- Velocidade máxima; VCO<sub>2</sub> VO<sub>2 máx</sub>-Produção de gás carbônico no consumo máximo de oxigênio; VE<sub>máx</sub> VO<sub>2 máx</sub>- Ventilação pulmonar no consumo máximo de oxigênio; VO<sub>2 máx</sub>- Consumo máximo de oxigênio; VO<sub>2</sub> /FC VO<sub>2 máx</sub>- Pulso de oxigênio no consumo máximo de oxigênio; V<sub>LA</sub>-Velocidade no limiar anaeróbico.

Fonte: Os autores.

## 2.6 DISCUSSÃO

O presente estudo buscou propor e testar um novo modelo para a identificação do  $\text{VO}_{2\text{máx}}$  aplicável ao protocolo de rampa e que fosse individualizado a cada sujeito. A revisão de literatura realizada por Midgley e Carroll (2009) sugere que estudos futuros investiguem a validade e a confiabilidade de um critério de platô de  $\text{VO}_2$  baseado na inclinação individual da relação  $\text{VO}_2$ /carga. O modelo proposto segue essa premissa, além de analisar os dados como um todo, não havendo necessidade de ser preestabelecido pelo pesquisador um período final do teste, nem um limiar de *slope* ou diferenças consecutivas, para verificar a estabilização do  $\text{VO}_2$ , introduzindo objetividade (evitando a influencia do pesquisador, pois todo o modelo é especificado pelos dados) ao procedimento de identificação.

Como citado anteriormente no Estudo I, foram encontrados trabalhos que utilizaram o LS aplicado ao protocolo de rampa, porém estes artigos apresentam falhas em seus métodos que podem também interferir na identificação do platô, como: subjetividade na escolha dos critérios,  $\text{VO}_2$  relacionado ao tempo e não a intensidade/carga e o fato de não poder determinar a significância (p-valor) (BABCOCK; PATERSON; CUNNINGHAM, 1992; MIDGLEY et al., 2009; MYERS et al., 1989; POOLE; WILKERSON; JONES, 2008; YOON; KRAVITZ; ROBERGS, 2007). Diante ao exposto, o modelo apresentado para identificação do platô se diferencia desses estudos pelas características que seguem: (1) o modelo é estimado especificamente para cada sujeito (na maioria dos estudos se usa uma regra geral de identificação, que independe do sujeito); (2) introdução de objetividade, isto é, redução da influência do pesquisador no procedimento de identificação (nos outros o pesquisador determina: quanto tempo do final do teste irá usar; qual o intervalo de tempo que utilizará para calcular as médias de  $\text{VO}_2$ ; o limiar que se utilizará para caracterização do platô); (3) acesso a significância estatística (p-valor) da conclusão - se rejeita ou não a não ocorrência de platô; (4) o  $\text{VO}_2$  é analisado de acordo com a variação da potência e não o tempo, garantindo fidedignidade com o conceito de platô.

Como citado acima, um critério aplicável ao protocolo de rampa também foi uma das preocupações deste estudo, uma vez que a utilização deste procedimento vem aumentando cada vez mais. O critério desenvolvido por Taylor et al. (1955) e que serviu de base para muitos critérios atuais, anteriormente demorava de 3 a 5 dias para o estabelecimento de um verdadeiro platô e as análises possuíam métodos diferentes aos aplicados atualmente. Em nossa contemporaneidade, os protocolos em sua maioria, são curtos e realizados no mesmo



dia, desta forma, necessitando de critérios mais adequados para identificação do platô. Estudos têm relatado que a forma tradicional de análise do platô, considerando um  $\Delta\text{VO}_2$  de corte dentro de estágios pré-estabelecidos, pode não ser um método aplicável ao protocolo de rampa (MIDGLEY et al., 2009). Com isso, alguns autores têm relatado baixos percentuais de ocorrência do platô. Lovell et al. (2011) trabalhou com o protocolo de rampa em cicloergômetro com 24 homens, utilizando o critério de Taylor et al. (1955) e encontrou um percentual de 34% de platô. Outro estudo também com baixa ocorrência é o apresentado por Gordon et al. (2012) onde o protocolo de rampa também foi utilizado com esteira e cicloergômetro, aplicado a 12 homens, no qual 25% atingiram platô no teste e somente 8% foram capazes de reproduzir um platô em um segundo teste. No entanto, os estudos de Babcock, Paterson e Cunningham (2002) e Brink-Elfegoun et al. (2007) contrariam esses achados, com altos percentuais de ocorrência do platô, 87% e 100%, respectivamente. Demonstrando que, ainda não há um esclarecimento na literatura a respeito deste assunto.

Como apresentado na Tabela 1, no presente estudo não foi encontrada nenhuma diferença estatística entre as características antropométricas da amostra. Demonstrando uma semelhança entre o grupo que apresentou platô e o sem platô.

Nesse estudo, 58,1% dos indivíduos apresentaram platô no  $\text{VO}_{2\text{máx}}$ . Esse percentual está dentro do esperado para este grupo. Considerando que, os resultados para o platô nos estudos possuem uma grande variação de 0% a 91% (GORDON et al., 2011; YOON; KRAVITZ; ROBERGS, 2007) e 17% a 98% segundo Stachenfeld et al. (1992), outros intervalos também são descritos na literatura. Esse largo intervalo encontrado no valor de ocorrências de platô, pode ser explicado pelos diferentes tempos de análise, duração de protocolo e critérios utilizados para identificação do platô (ASTORINO, 2009; DAY et al., 2003; YOON; KRAVITZ; ROBERGS, 2007).

A Tabela 3 apresentou as variáveis metabólicas, ventilatórias e de velocidade. Onde também não foram encontradas diferenças estatisticamente significativas. Lucia et al. (2006) trabalharam com uma amostra semelhante a do presente estudo ( $N=38$ ) e obtiveram um percentual semelhante para o platô de 47%. Este estudo também analisou algumas variáveis como:  $\text{VO}_{2\text{máx}}$  ( $\text{ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$ ),  $\text{RTR}_{\text{máx}}$  e  $\text{FC}_{\text{máx}}$  e corroborando para os resultados desse estudo, também não foram encontradas diferenças significativas entre os grupos com e sem platô. A pesquisa desenvolvida por Lucia et al. (2006), relata que os indivíduos que atingiram platô apresentaram maior concentração de lactato e níveis de pH mais baixos, quando

comparados aos que não atingiram platô. No entanto, esta é uma limitação do presente estudo, pois a concentração de lactato não foi uma variável analisada. Estudos sugerem que a concentração de lactato pode indicar maior adaptação anaeróbica do sujeito, quando mesmo com níveis mais elevados na exaustão, o sujeito ainda consegue sustentar por um período os aumentos de carga, sem aumento do  $\text{VO}_2$  (ROSSITER et al., 2006). Corroborando com esse pensamento, Gordon et al. (2011) ao realizar um estudo objetivando verificar se existe associação entre o  $\text{VO}_{2\text{platô}}$  e a capacidade anaeróbica em 9 jovens atletas ( $22,2 \pm 3,5$  anos) do sexo masculino e altamente treinados, conclui que existe uma correlação inversa entre  $\Delta\text{VO}_2$  e o déficit máximo de oxigênio acumulado ( $r = -0,77$ ,  $p = 0,008$ ), sugerindo que a ocorrência do platô é dependente do metabolismo anaeróbico e que o largo intervalo de ocorrência do platô encontrado na literatura pode ser consequência da variedade da capacidade anaeróbica dos sujeitos. Refutando esses achados, Silva et al. (2016) também com 9 jovens atletas ( $23 \pm 4$  anos) e do sexo masculino, mostram em seu estudo que a capacidade anaeróbica não é fator decisivo para determinar o  $\text{VO}_{2\text{máx}}$  ao encontrar uma correlação inversa entre  $\Delta\text{VO}_2$  e o déficit máximo de oxigênio acumulado, porém não significativa ( $r = -0,61$ ,  $p = 0,270$ ). Por outro lado, estes resultados foram obtidos a partir com uma amostra de indivíduos fisicamente ativos e não de atletas altamente treinados, como a apresentada por Gordon et al. (2011). Com isso, pode-se supor que existam outras variáveis que possam interferir na ocorrência ou não do platô de  $\text{VO}_{2\text{máx}}$ .

Desta forma, é possível que os indivíduos que não realizaram platô tenham apresentado baixos níveis de lactato sanguíneo ou apresentado alguma relação entre o  $\Delta\text{VO}_2$  e o déficit máximo de oxigênio acumulado. No entanto como citado anteriormente, estas variáveis não foram mensuradas neste estudo. Ainda neste sentido, Wagner et al. (2000) propõe que alguns sujeitos não realizam platô devido a sintomas desagradáveis causados pela exaustão, como dispneia e/ou dor nas pernas. Sendo desta forma, outra possível justificativa para os sujeitos que não demonstraram platô, uma possível falta de motivação/esforço. Contudo, todos os estímulos foram dados pelo aplicador do teste para garantir um teste de esforço máximo. Por outro lado, estudos mostram que mesmo testes aplicados em atletas de elite, têm revelado baixo percentual de ocorrência do platô.

## 2.7 CONCLUSÃO

O Estudo II propôs um novo modelo de análise para o platô de  $VO_{2\text{máx}}$ , bem como identificou as características de aptidão física dos sujeitos que realizaram ou não um platô de  $VO_{2\text{máx}}$  pelo modelo proposto. Desta forma, esse modelo apresenta vantagens por se adequar ao protocolo de rampa, analisar individualmente as variações do  $VO_2$  e pelo uso de método estatístico. Com a aplicação deste modelo foi encontrado um percentual de 58,1% de ocorrência do platô, estando esse resultado dentro dos valores encontrados na literatura. Em relação às características de aptidão, não foram encontradas diferenças estatisticamente significativas entre o grupo com e sem platô, demonstrando que pelas variáveis analisadas esses dois grupos não são diferentes. Alguns estudos se dedicaram a estudar os motivos pelos quais alguns indivíduos atingem o platô em relação a outros, contudo estes motivos ainda não estão esclarecidos na literatura. Diante ao exposto, mais pesquisas são necessárias para se testar a validade e reprodutibilidade do método proposto, assim como para esclarecer sobre os fatores envolvidos na realização ou não do platô de  $VO_{2\text{máx}}$ .

## 2.8 REFERÊNCIAS

- ALEXANDER, R. P.; MIER, C. Intermittent vs continuous graded exercise test for  $VO_{2max}$  in college soccer athletes. **International Journal of Exercise Science**, Bowling Green, v. 4, n. 3, p. 185-191, 2011.
- ASTORINO, T. A.; WILLEY, J.; KINNAHAN, J.; LARSSON, S. M.; WELCH, H.; DALLECK, L.C. Elucidating determinants of the plateau in oxygen consumption at  $VO_{2max}$ . **British Journal of Sports Medicine**, San Marcos, v. 39, n. 9, p. 655-660, 2005.
- ASTORINO, T. A. Alterations in  $VO_{2max}$  and the  $VO_2$  plateau with manipulation of sampling interval. **Clinical Physiology Functional Imaging**, Oxford, v. 29, p. 60-67, 2009.
- BABCOCK, M. A.; PATERSON, D. H.; CUNNINGHAM, D. A. Influence of ageing on aerobic parameters determined from a ramp test. **European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology**, Berlim, v. 65, n. 2, p. 138-143, 1992.
- BASSETT, D. R.; HOWLEY, E. T. Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, Denver, v.32, n. 1, p. 70-84, 2000.
- BILLAT, V. L.; HAMARD, L.; KORALSZTEIN, J. P. The influence of exercise duration at  $VO_{2max}$  on the off-transient pulmonary oxygen uptake phase during high intensity running activity. **Physiology and Biochemistry**, Lisse, v. 110, n. 5, p. 383-392, 2002.
- BOSCH, A. N.; GOSLIA, B. R.; NOAKES, T. D.; DENNIS, S. C. Physiological differences between black and white runners during a treadmill marathon. **European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology**, Berlim, v. 61, n. 1, p. 68-72, 1990.
- BRINK-ELFEGOUN, T.; HOLMBERG, H.; EKBLOM, M. N.; EKBLOM, B. Neuromuscular and circulatory adaptation during combined arm and leg exercise with different maximal workloads. **European Journal of Applied Physiology**, Berlim, v. 101, n. 5, p. 603-611, 2007.
- DAY, J. R.; ROSSITER, H. B.; COATS, E. M.; SKASICK, A.; WHIPP, B. J. The maximally attainable  $VO_2$  during exercise in humans: the peak vs. maximum issue. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v. 95, n. 5, p. 1901-1907, 2003.
- DENADAI. Consumo máximo de oxigênio: Fatores determinantes e limitantes. **Revista Brasileira de Atividade Física e Saúde**, São Paulo, v. 1, n. 1, p. 84-94, 1995.
- DUNCAN, G. E.; HOWLEY, E. T.; JHONSON, B. N. Applicability of  $VO_{2max}$  criteria: discontinuous versus continuous protocols. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, Denver, v. 29, n. 2, p. 273-278, 1997.
- EDVARDBSEN, E.; HEM, E.; ANDERSSSEN, S. A. End criteria for reaching maximal oxygen uptake must be strict and adjusted to sex and age: A cross-sectional study. **PLoS ONE**, San Francisco, v. 9, n. 1, p.1-8, 2014.

EDWARDS, A. M. Respiratory muscle training extends exercise tolerance without concomitant change to peak oxygen uptake: Physiological, performance and perceptual responses derived from the same incremental exercise test. **Respirology**, Pokorski, v. 18, n. 6, p. 1022-1027, 2013.

GIBSON, ST. A.; LAMBERT, M. I.; HAWLEY, J. A.; BROOMHEAD, S. A.; NOAKES, T. D. Measurement of maximal oxygen uptake from two different laboratory protocols in runners and squash players. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, Denver, v. 31, n. 8, p. 1226-1229, 1999.

GORDON, D.; MEHTER, M.; GERNIGON, M.; CADDY, O.; KEILLER, D.; BARNES, R. The effects of exercise modality on the incidence of plateau at  $VO_{2max}$ . **Clinical Physiology and Functional Imaging**, Oxford, v. 32, n. 5, p. 394-399, 2012.

GORDON, D.; SCHAITEL, K.; PENNEFATHER, A.; GERNIGON, M.; KEILLER, D.; BARNES, R. The incidence of plateau at  $VO_{2max}$  is affected by a bout of prior-priming exercise. **Clinical Physiology and Functional Imaging**, Oxford, v. 32, n. 1, p. 39-44, 2012.

GORDON, D.; WOOD, M.; PORTER, A.; VETRIVEL, V.; GERNIGON, M.; CADDY, O.; MERZBACH, V.; KEILLER, D.; BAKER, J.; BARNES, R. Influence of blood donation on the incidence of plateau at  $VO_{2max}$ . **European Journal of Applied Physiology**, Berlim, v. 114, n. 1, p. 21-27, 2014.

GORDON, D.; HOPKINS, S.; KING, C.; KEILLER, D.; BARNES, R. Incidence of the plateau at  $VO_{2max}$  is dependent on the anaerobic capacity. **International Journal of Sports Medicine**, Stuttgart, v. 32, p. 1-6, 2011.

HILL, A. V.; LUPTON, H. Muscular exercise, lactic acid, and the supply and utilization of oxygen. **Ergebnisse der Physiologie**, Berlim, v. 24, n. 1, p. 43-51, 1925.

HOGG, J. S.; HOPKER, J. G.; MAUGER, A. R. The self-paced  $VO_{2max}$  test to assess maximal oxygen uptake in highly trained runners. **International Journal of Sports Physiology and Performance**, Champaign, v. 123, n. 4, p. 922-925, 1992.

HOWLEY, E. T.; BASSET, D. R.; JR.; WELCH, H. G. Criteria for maximal oxygen uptake: review and commentary. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, Denver, v. 27, n. 9, p. 1292-1301, 1995.

LACOUR, J. R.; MESSONNIER, L.; BOURDIN, M. The leveling-off of oxygen uptake is related to blood lactate accumulation. Retrospective study of 94 elite rowers. **European Journal of Applied Physiology**, Berlim, v. 101, n. 2, p. 241-247, 2007.

LEHMANN, G.; SCHMID, S.; AMMER, R.; SCHÖMIG, A.; ALT, E. Evaluation of a new treadmill exercise protocol. **Chest**, Chicago, v. 112, n. 1, p. 98-106, 1997.

LEMONS, T.; NOGUEIRA, F. S.; POMPEU, F. A. M. S. Influência do protocolo ergométrico na ocorrência de diferentes critérios de esforço máximo. **Revista Brasileira de Medicina do Esporte**, São Paulo, v. 17, n. 1, p. 18-21, 2006.

LIMA-SILVA, A. E.; BERTUZZI, R.C.M.; GEVAERD, M.S.; OLIVEIRA, F.R. Identificação do platô do consumo de oxigênio com diferentes tempos de análise. **Revista Brasileira de Ciência e Movimento**, São Caetano do Sul, v. 14, n. 1, p. 7-12, 2006.

LUCIA, A.; RABADÁN, M.; HOYOS, J.; HERNÁNDEZ-CAPILLA, M.; PÉREZ, M.; SAN JUAN, A. F.; EARNEST, C. P.; CHICHARRO, J. L. Frequency of the  $VO_{2max}$  plateau phenomenon in world-class cyclists. **International Journal of Sports Medicine**, Stuttgart, v. 27, n. 12, p. 984-992, 2006.

MAGNAN, R. E.; KWAN, B. M.; CICCOLO, J. T.; GURNEY, B.; MERMIER, C. M.; BRYAN, A. D. Aerobic capacity testing with inactive individuals: the role of subjective experience. **Journal of Physical Activity and Health**, Champaign, v. 10, n. 2, p. 271-279, 2013.

MAUGER, A.; SCULTHORPE, N. A new  $VO_{2max}$  protocol allowing self-pacing in maximal incremental exercise. **British Journal of Sports Medicine**, London, v. 46, n. 1, p. 59-63, 2011.

MCARDLE, W. D.; KATCH, F. I.; KATCH, V. L. Fisiologia do exercício: Nutrição, energia e desempenho esportivo. **Sétima edição**, Rio de Janeiro, Guanabara Koogan, Rio de Janeiro, 2013.

MENEGHELO, R. S.; ARAÚJO, C. G. S.; STEIN, R.; MASTROCOLLA, L. E.; ALBUQUERQUE, P.F.; SERRA, S. M. Sociedade Brasileira de Cardiologia. III Diretrizes da Sociedade Brasileira de Cardiologia sobre Teste Ergométrico. **Arquivo Brasileiro de Cardiologia**, São Paulo, v. 95, n. 5 supl., p.1-26, 2010.

MIDGLEY, A. W.; CARROLL, S. Emergence of the verification phase procedure for confirming 'true'  $VO_{2max}$ . **Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports**, Copenhagen, v. 19, p. 313-322, 2009.

MIDGLEY, A. W.; CARROLL, S.; MARCHANT, D.; McNAUGHTON, L. R.; SIEGLER, J. Evaluation of true maximal oxygen uptake based on a novel set of standardized criteria. **Applied Physiology Nutrition and Metabolism**, Ottawa, v. 34, n.2 , p. 115-23, 2009.

MUGGEO, V. M. Estimating regression models with unknown break- points. **Statistics in medicine**, v. 22, n.19, 3055-3071, 2003.

MUGGEO, V. M. Segmented: an R package to fit regression models with broken-line relationships. **R news**, v. 8, n. 1, 20-25, 2008.

MYERS, J.; BUCHANAN, N.; WALSH, D.; KRAEMER, M.; McAULEY, P.; HAMILTON-WESSLER, M.; FROELICHER, V. F. Comparison of the ramp versus standard exercise protocols. **Journal of the American College of Cardiology**, New York, v. 17, n. 6, p. 1334-1342, 1991.

MYERS, J.; WALSH, D.; BUCHANAN, N.; FROELICHER, V. F. Can maximal cardiopulmonary capacity be recognized by a plateau in oxygen uptake? **Chest**, Chicago, v. 96, n. 6, p. 1312-1316, 1989.

NIEMELA, K.; PALATSI, I.; TAKKUMEN, J. The oxygen uptake-Work-Output relationship of runners during graded cycling exercise: sprinters vs. endurance runners. **British Journal of Sports Medicine**, London, v. 14, n. 4, p. 204-209, 1980.

POLLOCK, M L; WILMORE, J H. **Exercícios na saúde e na doença: Avaliação e prescrição para prevenção e reabilitação**. Rio de Janeiro: Medsi Editora Médica e Científica Ltda, p. 670, 1993.

POOLE, D. C.; WILKERSON, D.P.; JONES, A. M. Validity of criteria for establishing maximal  $O_2$  uptake during ramp exercise tests. **European Journal of Applied Physiology**, Berlim, v. 102, n. 4, p. 403-410, 2008.

R Core Team (2017). R: A language and environment for statistical computing. **R Foundation for Statistical Computing**, Vienna. URL <https://www.R-project.org/>

SLONIGER, M. A.; CURETON, K. J.; CARRASCO, D. I.; PRIOR, B. M.; ROWE, D. A.; THOMPSON, R. W. Effect of the slow-component rise in oxygen uptake on  $VO_{2max}$ . **Medicine and Science in Sports and Exercise**, Denver, v. 28, n. 1, p. 72-78, 1996.

STACHENFELD, N. S.; ESKENAZI, M.; GLEIM, G. W.; COPLAN, N. L.; NICHOLAS, J. A. Predictive accuracy of criteria used to assess maximal oxygen consumption. **American Heart Journal**, Saint Louis, v. 123, n. 4, p. 922-925, 1992.

SUN, X.; HANSEN, J. E.; STRINGER, W. W. Oxygen uptake efficiency plateau: physiology and reference values. **European Journal of Applied Physiology**, Berlim, v. 112, n. 3, p. 919-928, 2012.

TAYLOR, H.L.; HENSCHER, A.; BUSKIRK, E. Maximal Oxygen uptake as an objective measure of cardio-respiratory performance. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v.8, p.73-80, 1955.

URSO, J. E.; VENÂNCIO, N. B.; SILVEIRA, R. M. Correlação entre os protocolos tradicionais incrementais, usados na identificação do limiar anaeróbico para ciclistas: uma análise crítica. **Revista Brasileira de Prescrição e Fisiologia do Exercício**, São Paulo, v. 4, n. 23, p. 489-503, 2010.

VELLA, C. A.; MARKS, D.; ROBERGS, R. A. Oxygen cost of ventilation during incremental exercise to  $VO_{2max}$ . **Respirology**, Pokorski, v. 11, n. 2, p. 175-181, 2006.

WAGNER, PD. New ideas on limitations to  $VO_{2max}$ . **Exercise and Sport Sciences Reviews**, New York, v. 28, p. 10-14, 2000.

WISWELL, R. A.; VRIES, H. A. Time course of  $O_2$ -pulse during various tests of aerobic Power. **European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology**, Berlim, v. 41, n. 4, p. 221-232, 1979.

YOON, B. K.; KRAVITZ, L.; ROBERGS, R.  $VO_{2max}$ , protocol duration, and the  $VO_2$  plateau. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, Denver, v. 39, n. 7, p. 1186-1192, 2007.

## ANEXO – Parecer consubstanciado do CEP

UNIVERSIDADE FEDERAL DO  
ESPÍRITO SANTO - UFES -  
CAMPUS GOIABEIRA



### PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

#### DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

**Título da Pesquisa:** Estudo multifatorial do desempenho de atletas capixabas de corrida de rua - EMDCor

**Pesquisador:** Anselmo José Perez

**Área Temática:**

**Versão:** 1

**CAAE:** 13769613.9.0000.5542

**Instituição Proponente:** Centro de Educação Física e Desportos da Universidade Federal do Espírito

**Patrocinador Principal:** Centro de Educação Física e Desportos da Universidade Federal do Espírito Santo

#### DADOS DO PARECER

**Número do Parecer:** 261.897

**Data da Relatoria:** 06/05/2013

#### Apresentação do Projeto:

Como versa no texto, o Espírito Santo acompanha a tendência nacional em voga desde o século XXI que é o aumento do número de pessoas que praticam a corrida. Trata-se de pesquisa que reconhece a corrida de rua como promotora de benefícios para a saúde, mas que também pode oferecer riscos.

#### Objetivo da Pesquisa:

Descrever o perfil do corredor de rua capixaba de uma forma multifatorial que envolva os aspectos biológicos e socioculturais.

#### Avaliação dos Riscos e Benefícios:

Conforme consta no texto, há riscos de incômodo ou falta de adaptação à máscara utilizada no esforço para medida do ar expirado e na própria esteira, além de os homens

terem seus pelos peitorais raspados para melhor registro do eletrocardiograma.

Os benefícios seriam as condições de uma melhor programação de treinamento, individualizado (baseado nos dados ofertados).

#### Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

não há.

**Endereço:** Av. Fernando Ferrari, 514 - Campus Universitário

**Bairro:** Goiabeiras

**CEP:** 29.090-000

**UF:** ES **Município:** VITORIA

**Telefone:** (27)3335-2711

**E-mail:** thiago.moraes@ufes.br



UNIVERSIDADE FEDERAL DO  
ESPÍRITO SANTO - UFES -  
CAMPUS GOIABEIRA



Continuação do Parecer: 261.897

**Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:**

Contempla a solicitação mínima obrigatória.

**Recomendações:**

Sugiro revisão na forma de como está descrito o objetivo primário.

**Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:**

não há.

**Situação do Parecer:**

Aprovado

**Necessita Apreciação da CONEP:**

Não

**Considerações Finais a critério do CEP:**

Projeto aprovado por esse comitê. Sugere-se, porém, que se observe as recomendações do relator.

VITORIA, 02 de Maio de 2013

---

**Assinador por:**

**Thiago Drumond Moraes**  
**(Coordenador)**

**Endereço:** Av. Fernando Ferrari, 514 - Campus Universitário

**Bairro:** Goiabeiras

**CEP:** 29.090-000

**UF:** ES **Município:** VITORIA

**Telefone:** (27)3335-2711

**E-mail:** thiago.moraes@ufes.br

**APÊNDICE – Tabela de descrição dos artigos apresentados na revisão sistemática (Estudo I).**

AUTORES/ANO	IDADE (anos)	ERGÔMETRO	GÊNERO/N	PROTOCO LO	IDENTIFICAÇÃO DO VO <sub>2</sub>		CRITÉRIOS SECUNDÁRIOS	OCORRÊNCIA
					Tempo de análise	Critério		
1. Alexander et al. 2011	Homens ( 21,8 ± 1,7) e Mulheres (n=6 20,6 ± 2,0)	Esteira	5 homens e 6 mulheres	Escalonado	Médias de 30s	Taylor et al.	Não especificado	54,5% para atletas
2. Astorino et al. 2005	26,9±9,8	Esteira	30 homens e mulheres	Rampa	Últimos 30 e 60 s	$\Delta VO_2 \leq 50 \text{ ml. min}^{-1}$	RTR> 1,10	66% atletas de endurance, 82% ativos e 60% atletas de força
3. Babcock et al. 1992	(grupo 1=34,0±3,1) (2=44,5± 3,0) (3=53,9±2,9) (4= 71,4±4,9)	Cicloergômetro	79 homens	Rampa	Médias de 15 s	Taylor et al. e regressão linear	Não especificado	63% atingiram o platô
4. Billat et al. 2002	38±7	Esteira	9 homens	escalonado	Médias dos dois períodos finais de 15s	Taylor et al.	RTR >1,1; [Lac] >8-9 mM e FCmáx (220 - idade) ≥ 90% ± 10bpm	50% para atletas
5. Bisi et al. 2011	23,5 ±2,9	Cicloergômetro	11 homens	Rampa	Para o Palange 2 minutos, para o Taylor não menciona	slope menor que 3% (Palange) e Taylor et al.	Fcmáx( 220 - idade) ± 10bpm ; RTR ≥ 1,08	Para o critériode 3% e Taylor et al, 63,64% e 72,72% respectivamente.
6. Brink-Elfegoun et al. 2007	23 ± 3	Esteira/Cicloergômetro	8 homens	Rampa	Não especificado	Taylor et al.	PSE; [Lac]; Fc pelo Polar e ECG	100% para treinados em endurance

7.	Day et al. 2003	21 ± 3	Cicloergômetro	71 homens	Rampa	Média de 30 s	Taylor et al.	Não especificado	17% apresentaram platô
8.	Duncan et al. 1997	24,1±2,5	Esteira	10 homens	Escalonado	Não especificado	Taylor et al.	RTR >1,15;[Lac] >8mM;Fcmáx (220 - idade)≥ 90% ± 10bpm e PSE Borg.	60% no protocolo descontinuo e por 50% no protocolo contínuo
9.	Edvardsen et al. 2014	20-85	Esteira	861 indivíduos (390 mulheres)	Rampa	Média dos dois períodos finais de 30 s	ANOVA para testar a igualdade dos valores consecutivos de VO <sub>2</sub> , apesar de um aumento na VE no esforço máximo.	FCmáx(220 - idade)≥ 95% ± 10bpm ; RTR ≥ 1,0;1,10 e 1,15 ; PSE e [Lac] ≥ 8mM	41% cento das mulheres e 42% dos homens
10.	Edwards 2013	24±4	Esteira	36 homens (EXP=18) (CON=18)	Não especificado	Maior média de 60 s	Taylor et al.	Não especificado	44% do EXPno início do estudo e 78% após 4 semanas de TMR. 56% dos CON no início do estudo, 50% ao final (ativos)
11.	Gibson et al. 1999	22 em média	Esteira	Jogadores de squash (n=10) Corredores de longa distância (n=10)	Escalonado	Não especificado	ΔVO <sub>2</sub> <2 mL·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> ou 5% com um aumento na intensidade do exercício	Fcmáx( 220 - idade )± 10bpm;RTR >1,15;[Lac] >8,0mM	Variações de 30% a 50% de acordo como protocolo do teste e o critério de identificação.
12.	Gordon et al. 2011	22,2±3,5	Cicloergômetro	9 ciclistas homens	Rampa	Dois períodos finais de 30 s	ΔVO <sub>2</sub> de ≤ 50 ml. min <sup>-1</sup>	RTR ≥ 1,10; Δ RTR ≥ 0,4;Fcmáx( 220 - idade )± 10bpm e PSE ≥ 19	45% para atletas
13.	Gordon et al. 2012a	21 ± 3	Cicloergômetro	12 homens	Rampa	Dois períodos finais de 30 s	ΔVO <sub>2</sub> ≤2.1 ml.kg <sup>-1</sup> .min <sup>-1</sup>	RTR≥1,10; Δ RTR ≥0,4;FCmáx(220 - idade) ± 10bpm e PSE ≥ 19	50% para atletas

14.	Gordon et al. 2012b	21,7 ± 2,3	Esteira/cicloergômetro	12 homens	Rampa	Dois períodos finais de 30 s	$\Delta VO_2 \leq 50 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1}$	Fc <sub>máx</sub> (220 - idade) 90% ± 10bpm; RTR ≥ 1,10; $\Delta RTR > 0,4$ e PSE ≥ 20	25% no teste 1 e reprodutibilidade em 8% para ativos
15.	Gordon et al. 2014	23,3 ± 4,5	Cicloergômetro	15 homens	Rampa	Dois períodos finais de 30 s	$\Delta VO_2 \leq 50 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1}$	Fc <sub>máx</sub> (220 - idade) 90% ± 10bpm; RTR ≥ 1,10; $\Delta RTR > 0,4$ e PSE ≥ 20	73% para atletas
16.	Hogg et al. 2015	28 ± 5	Esteira	14 homens	Escalonado	Média dos dois períodos finais de 30 s	Se a variação no $VO_2$ durante a maior média de 30s atingida no final de dois estágios fosse menor que a diferença normal estágio-a-estágio em $VO_2$ durante as partes lineares iniciais do teste.	Fc <sub>máx</sub> (220 - idade) ≥ 90% ± 10bpm; RTR ≥ 1,1 e PSE ≥ 17.	21,4% para atletas
17.	Lacour et al. 2007	22,5 ± 3,6	Remoergômetro	94 homens	Escalonado	Últimos 30 s	$\Delta VO_2$ de 2,5%	Fc pelo ECG; [Lac] ≥ 9mM e RTR ≥ 1,10	40% dos remadores
18.	Lehmann et al. 1997	25 e 26	Esteira	11 homens e 10 mulheres	Escalonado	Não especificado.	Taylor et al.	Fc <sub>máx</sub> (220 - idade)	0%
19.	Lemos et al. 2011	23 ± 4	Cicloergômetro	7 homens e 2 mulheres	Escalonado	20 s.	Taylor et al.	RTR ≥ 1,1; Fc <sub>máx</sub> ≥ 90% (220 - idade) ± 10bpm e [Lac] ≥ 8,0 mM	15W.min <sup>-1</sup> =55,5%, 50W.3min <sup>-1</sup> =11,1%, 50W.5min <sup>-1</sup> =0% (ativos e sedentários)

20.	Lima-Silva et al. 2006	20-30	Esteira	28 homens	Rampa	Médias das cinco últimas respirações (5R), média dos dez (10s), vinte (20s) e trinta (30s) segundos finais de cada velocidade.	Taylor et al.	RTR > 1,10 e Fcmáx(220 - idade) ≥ 90%.	100% para ativos e sedentários
21.	Lovell et al. 2011.	70-80	Cicloergômetro	24 homens	Rampa	Não especificado	Taylor et al.	RTR >1,15 e Fcmáx(220 - idade) ≥ 90%± 10bpm	menos de 34% dos participantes
22.	Lucia et al. 2006	ciclistas profissionais=25 ± 3 ; controles=73,3	Cicloergômetro	38 homens	Rampa	Dois períodos finais de 60 s.	Taylor et al	RTR ≥ 1,1, Fcmáx(220 - idade) ≥ 95% ± 10bpm e [Lac] ≥ 8,0mM	ciclistas=47%, controles=24%
23.	Magnan et al. 2013	28,16±8,08	Esteira	197 mulheres e 43 homens	Escalonado	Médias de 30 s.	VO <sub>2</sub> absoluto ΔVO <sub>2</sub> ≤ 150 ml.min <sup>-1</sup> e no VO <sub>2</sub> relativo ΔVO <sub>2</sub> 1,5 mL. Kg <sup>-1</sup> .min <sup>-1</sup> (Taylor et al.)	RTR ≥ 1,1; PSE ≥ 18 e FCmáx(220 - idade) ± 10bpm	Absoluto= 59% e relativo=37,1% (sedentários)
24.	Mauger et al. 2012	22 ± 7	Cicloergômetro	Dezesseis (11 homens, 5 mulheres)	Escalonado	Médias de 30 s.	ΔVO <sub>2</sub> de ≤ 50 ml. min <sup>-1</sup>	Não especificado	Não especificado
25.	Midgley et al. 2009	37,6 ± 5,8	Esteira/cicloergômetro	20 homens	Rampa	Médias de 30s.	VO <sub>2</sub> modelo (regressão) e VO <sub>2</sub> medido < 50% do slope da regressão (análise individualizada)	FC=85%,90%,95%,100%; RTR ≥ 1,05 , 1,10 e 1,15 e [Lac] ≥ 8mM e ≥ 10mM	Para atletas entre 25% e 85%.
26.	Myers et al. 1989	33 ± 6	Esteira	5 homens e 1 mulhere	Rampa	30 consecutivas oito respirações, cada respiração representava uma média de oito consecutivas respirações	Uma inclinação no consumo de oxigênio vs tempo no pico do exercício que não diferia significativamente de zero. (regressão)	Não especificado	100% no dia 1 e reprodutibilidade em 50% da amostra

27.	Niemela et al. 1980	(velocistas=23,2 ±36; corredores=27,35 ± 3,7)	Cicloergômetro	21 homens	Rampa	Não especificado	Se os últimos três valores do $\dot{V}O_2$ variassem dentro de 5%	Não especificado	velocistas=9,5%; corredores=9,5%; controle=4,8%
28.	Poole et al. 2008	27 ±4	Cicloergômetro	8 homens	Rampa	Maior média de 20 s.	Regressão linear de mínimos quadrados e cálculo do intervalo de confiança para os valores de média de 20s. O platô foi considerado quando os pontos estavam abaixo da curva e extrapolavam o intervalo de confiança de 95%.	RTR > 1,00; 1,10 ou 1,15; $F_{cm\acute{a}x}(220 - idade) \pm 10bpm$ e $[Lac]$ de 8–10 mM	62% apresentaram platô.
29.	Sloniger et al. 1996	20-31	Esteira	6 homens e 2 mulheres	Escalonado	Não especificado	Taylor et al.	Não especificado	100% para estudantes
30.	Stachenfeld et al. 1992	30,6 ±6,1	Cicloergômetro	18 mulheres e 33 homens	Rampa	Médias de 20 s.	Taylor et al.	RTR ≥ 1,1; $F_{cm\acute{a}x}(220 - idade) \geq 95\%e[Lac] \geq 8,0$ mM	88% atingiram o $\dot{V}O_{2m\acute{a}x}$ no teste
31.	Sun et al. 2012	39±16	Esteira/cicloergômetro	281 homens e 136 mulheres	Rampa	Médias de 90 s.	Maiores médias consecutivas	Não especificado	não especificado
32.	Vella et al. 2006	29,4 ± 6,1	Cicloergômetro	19 homens e 02 mulheres	Rampa	Média de 30s.	Taylor et al.	$F_{cm\acute{a}x}(220 - idade) \geq 90\% \pm 5bpm$	28,6% atletas e ativos

33.	Wiswell et al. 1979	18-25±20,5	Esteira/cicloergômetro	30 homens e mulheres	Rampa	Não especificado	Se aumentar a carga de trabalho a 25 W e não aumentar o $\dot{V}O_2$ por mais de 100 ml / min <sup>-1</sup>	RTR >1,05; A Fc atingir o nível máximo ajustada pela idade como reportada por Robinson	não especifica
34.	Yoon et al. 2007	24,9 ± 6,6	Cicloergômetro	8 homens e 8 mulheres	Rampa	Últimos 30 s.	$\Delta \dot{V}O_2$ de ≤ 50 ml. min <sup>-1</sup> (regressão)	Não especificado	Para o 5,8,12 e 16 min de protocolo, foi encontrado em 12,5%, 37,5%,25% e 62,5% dos homens e 12,5%, 75%,50% e 50% das mulheres. (atletas)
35.	Silva et al.	23±4	Cicloergômetro	9 homens	Rampa	Últimos 30 s.	Taylor et al.	RTR >1,10; [Lac] ≥8,0 mM	55,5% apresentaram platô.

Legendas: RTR- razão de troca respiratória; FC<sub>máx</sub>- Frequência cardíaca máxima; PSE- Percepção Subjetiva de Esforço; [Lac]- Concentração sanguínea de lactato; EXP- grupo experimental; CON- grupo controle; TMR- Treinamento dos músculos respiratórios; VE- Ventilação por minuto, SED- Grupo sedentários; FIA-Grupo fisicamente ativos.